

SKRIPSI

**REDESIGN STRUKTUR ATAS (UPPER STRUCTURE)
PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS HUKUM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS BRAWIJAYA DENGAN KOMBINASI ELEMENT
BETON 5 LANTAI KE BAWAH & 6 LANTAI KE ATAS ELEMENT BAJA**



**Disusun Oleh :
Natalisio Da Costa
10.21.052**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2014**

LEMBAR PERSETUJUAN
SKRIPSI

**“ REDESIGN STRUKTUR ATAS (UPPER STRUCTURE) PEMBANGUNAN
GEDUNG FAKULTAS HUKUM PASCA SARJANA UNIVERSITAS
BRAWIJAYA DENGAN KOMBINASI ELEMENT BETON 5 LANTAI KE
BAWAH & 6 LANTAI KE ATAS ELEMENT BAJA”**

*Skripsi ini diajukan guna memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Pendidikan S-1
Pada Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang*

**Disusun Oleh :
NATALISIO DA COSTA
NIM. 10.21.052**

Disetujui Oleh :

Pembimbing I



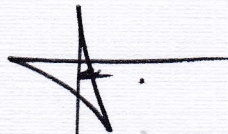
Ir. Munasih, MT.

Pembimbing II



Ir. Eding Iskak Imananto, MT.

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil



Ir. A. Agus Santosa, MT.

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2014**

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

**“REDESIGN STRUKTUR ATAS (UPPER STRUCTURE) PEMBANGUNAN
GEDUNG FAKULTAS HUKUM PASCA SARJANA UNIVERSITAS
BRAWIJAYA DENGAN KOMBINASI ELEMENT BETON 5 LANTAI KE
BAWAH & 6 LANTAI KE ATAS ELEMENT BAJA”**

Dipertahankan Dihadapan Dewan Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu S-1

Pada Hari, Rabu Tanggal 20 Agustus 2014

Dan diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Guna Memperoleh

Gelar Sarjana Teknik Sipil

Disusun Oleh :

NATALISIO DA COSTA

NIM. 10.21.052

Disahkan Oleh :

Panitia Ujian

Ketua

Sekretaris

Ir. A. Agus Santosa, MT.

Lila Ayu Ratna Winanda, ST. MT.

Anggota Penguji

Penguji I

Penguji II

Ir. A. Agus Santosa, MT.

Ir. Banbang Wedyantadji, MT

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2014**

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan Berkah dan Rahmat-Nya, sehingga SKRIPSI ini dapat terselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang Sebesar-besarnya kepada

1. Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT., Selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang
2. Bapak Dr. Ir. Kustamar, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITN Malang.
3. Bapak Ir. A. Agus Santosa, MT selaku Ketua program Studi Teknik Sipil S-1 ITN Malang.
4. Ibu Lila Ayu Ratna Winanda, ST, MT, selaku Sekretaris Jurusan
5. Bapak Ir. Eding Iskak Imananto, MT ,selaku Dosen Pembimbing
6. Ibu Ir. Munasih, MT ,selaku Dosen Pembimbing
7. Bapak / Ibu dosen Program Studi Teknik Sipil S-1.
8. Seluruh rekan – rekan mahasiswa Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang.

Penyusun menyadari bahwa Penyusunan Skripsi ini masih jauh dari sempurna. Demikian jika ada kekurangan dalam hal, isi maupun sistematis penulisannya maka penyusun sangat mengharapkan segala masukan dan koreksi guna penyempurnaan Skripsi ini. Dan akhir kata semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang,...,Agustus 2014

Penyusun

NATALISIO DA COSTA 10.21.052 2014, “REDESIGN STRUKTUR ATAS (UPPER STRUCTURE) PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS HUKUM PASCA SARJANA UNIVERSITAS BRAWIJAYA DENGAN KOMBINASI ELEMENT BETON 5 LANTAI KE BAWAH & 6 LANTAI KE ATAS ELEMENT BAJA” .Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil S-1 ITN Malang.

Pembimbing : (I) Ir. Munasih, MT.

Pembimbing : (II) Ir. Eding Iskak Imananto, MT.

ABSTRAKSI

Struktur baja cukup banyak diminati karena baja adalah suatu jenis bahan bangunan yang berdasarkan pertimbangan aman, nyaman ekonomis, sifat, dan kekuatannya tepat dalam pemikul beban tarik dan beton kuat menerima tekan. Oleh karena itu baja banyak dipakai sebagai bahan struktur, misalnya untuk rangka utama bangunan bertingkat sebagai kolom dan balok. Pada perencanaan pembangunan gedung Fakultas Hukum Pasca Sarja Universitas Brawijaya dengan kombinasi element beton dan baja, metode yang digunakan adalah SNI untuk beton dan baja yang berlaku di Indonesia. Struktur awal yang menggunakan keseluruhan beton bertulang sehingga struktur bangunan ini jika dilihat dari keseluruhan strukturnya sangat berat, maka makin berat strukturnya maka semakin besar beban gempa saat terjadi gempa bumi, yang diterima oleh struktur sangatlah besar, sehingga struktur akan di design ulang dengan harapan akan mengurangi beban gempa atau berat massa sehingga struktur dengan kombinasi antara beton dan baja yang merupakan 5 lantai ke bawah beton dan 6 lantai ke atas baja akan semakin kecil beban gempanya dan dengan adanya 5 lantai ke bawah merupakan beton yang memiliki redaman lebih bagus sebesar 5% sedangkan baja memiliki 3% redaman maka struktur baja yang merupakan 6 lantai ketas yang sangat kaku saat terjadi gempa akan direndam dengan baik oleh struktur beton jika dibandingkan dengan struktur awal merupakan struktur beton bertulang.

Hasil perencanaan struktur atas pada line 3 portal 3E momen yang terjadi sebesar 393.433 kNm dan sebesar 4470 kN menggunakan tulangan 24D25 sedangkan line 3 beam 3F – 3E momen lapangan yang terjadi sebesar 120.406 kNm dengan tulangan tarik 4D22 dan tulangan tekan 2D22, variasi bentuk beam kolom 3E bujursangkar 24D25 dengan kondisi tekan menentukan. Untuk dimensi profil WF 400 x 200 x 8 x 13 pada beam 3F – 3E momen tumpuan yang terjadi sebesar 177.032 kNm sedangkan momen yang diijinkan sebesar 255.96 kNm

Kata Kunci : Redesign Struktur, Kombinasi Elemen Beton dan Baja

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR ABSTRAKSI.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI BETON	xiv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Pembahasan	2
BAB II.....	4
LANDASAN TEORI.....	4
2.1. Bangunan Tahan Gempa	4
2.2 Faktor Beban.....	5
2.3 Macam-macam pembebanan	5
2.4 Kombinasi pembebanan	8

2.5 Beban Kombinasi	9
2.6 Struktur Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan	9
2.7 Dasar Perencanaan Balok	11
2.7.1 Perencanaan Balok Bertulang Rangkap	11
2.7.2 Perencanaan Balok dengan Tulangan Tekan dan Tarik (Rangkap)	12
2.7.3 Analisa Penampang Balok Bertulang Rangkap	12
2.7.4 Perancangan Balok T	15
2.8 Perencanaan Tulangan Geser.....	21
2.9 Kolom.....	23
2.9.1 Analisa Perencanaan Penulangan Kolom	23
2.9.2 Kolom Langsing	26
2.9.3 Merencanakan Tulangan Geser	27
2.9.4 pengaruh kelangsingan	27
2.10 Material baja	29
2.11 Profil Baja.....	30
2.12 Hubungan Antara Tegangan dan Regangan pada Konstruksi Baja	31
2.13 Sifat Mekanis Strutural Baja Untuk Perencanaan Bangunan Gedung	33
2.14 Load and Resistance Factor Design (LRFD).....	34
2.14.1 Filosofi Design	34
2.14.2 Teori Kekuatan batas	36
2.14.3 Desain LRFD Struktur Baja	37
2.14.4 Batas-Batas Lendutan.....	38
2.15 Analisis Beban Gempa	39

2.15.1	Analisa Dinamik	40
2.17	Perencanaan Balok Dan Kolom	47
2.17.1	Balok.....	47
2.17.2	Perencanaan pelat badan.....	54
2.17.3	Kolom	57
2.17.4	Sambungan	68
2.17.5	Jenis-jenis Sambungan (gambar sesuai dengan penjelasan pada.....	69
2.17.6.	Sambungan Baut.....	70
2.17.7	Kekuatan Baut.....	71
2.17.8	Tata Letat Baut.....	73
2.17.9	Sambungan Rangka.....	76
2.18	Sambungan Balok – Balok (<i>Splice Beam</i>).....	82
2.18.1	Perencanaan Plat Penyambung	82
2.18.2	Perencanaan Baut Flens.....	83
2.18.3	Perencanaan Baut Badan	84
2.18.4	Kontrol Kekuatan Satu Baut Terhadap Momen	84
2.19	Sambungan Balok Induk – Balok Anak.....	85
2.20	Sambungan Kolom – Kolom (<i>Splice Column</i>)	86
2.21	PELAT DASAR KOLOM	89
BAB III	92
DATA PERENCANAAN	92
3.1	Data Perencanaan	92
3.1.1	Data Umum Bangunan	92

3.1.2	Data Teknis Bangunan.....	92
3.1.3	Mutu Bahan Yang Digunakan.....	92
3.2	Tahapan Perencanaan.....	93
3.2.1	Analisa pembebanan.....	93
3.2.2	Analisa Statika.....	94
3.2.3	Desain Beton Bertulang	94
3.2.4	Gambar Struktur	94
BAB IV PERHITUNGAN PEMBEBANAN		95
4.1	Data Perencanaan.....	95
4.2	Perencanaan Dimensi Penampang	98
4.2.1	Dimensi balok dan Kolom	100
4.3	Perencanaan pembebanan.....	101
4.4	Kinerja Batas Layan (s) dan Kinerja Batas Ultimit (m).....	116
BAB V PERHITUNGAN PENULANGAN STRUKTUR.....		120
5.1	Perhitungan penulangan struktur	120
5.1.1	Penulangan Lapangan.....	121
5.1.2	Penulangan Tumpuan	127
5.2	Perhitungan penulangan geser balok.....	136
5.3	Perhitungan Penulangan Kolom	139
5.3.1	Perencanaan Begel Kolom E3	144
5.3.2	Membuat diagram interaksi kolom	147
5.4	Perencanaan Balok dan kolom WF.....	163
5.5	Perencanaan Shear Connector	168

5.6 Perencanaan Kolom F3	172
5.7 Perhitungan Sambungan.....	175
5.7.1 Sambungan Balok – Kolom (Joint 2459 beam 12446 & 12420)	175
5.7.2 Sambungan Balok Induk - Balok Anak	183
5.7.3 Sambungan Kolom – Kolom (10998)	187
5.7.4 Sambungan Kolom – Plat Dasar beam 10965 join 11918.....	193
BAB VI PENUTUP	202
6.1 Kesimpulan.....	202
6.2 Saran-saran	204
DAFTAR PUSTAKA	205

DAFTAR TABEL

table 2 1 Beban hidup pada lantai gedung	7
table 2 2 Sifat- sifat mekanis baja struktural	34
table 2 3 Faktor reduksi () untuk keadaan kekuatan batas	37
table 2 4 Batas lendutan maksimum	39
table 2 8 Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan .	50
table 2 9 Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan ..	51
table 2 10 Ukuran Minimum Las Sudut.....	81
Table 4 1 Hasil reaksi tiap lantai di pusatkan pada pemusatan masa perlantai	114
Table 4 2 Koefisien Wilayah Gempa.....	114
Table 4 3 Analisa s akibat gempa	117
Table 4 4 Penimpangan Lateral (Drift).....	119
Table 5 1 kesimpulan momen lentur untuk desain balok F3 - E3	120
Table 5 2 kesimpulan beban aksial dan momen lentur pada kolom E3 antara lantai.....	139
Table 5 3 kesimpulan beban aksial dan momen lentur pada kolom E3 antara lantai tingkat ke-5	163
Table 5 4 kesimpulan momen lentur untuk desain balok F3 - E3	164
Table 5 5 Ukuran Minimum Las Sudut	199

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2 1 Diagram regangan yang bekerja pada balok persegi	16
Gambar 2 2 Diagram yang bekerja pada balok T murni.....	18
Gambar 2 3 Nomogram Faktor Panjang Efektif Kolom.....	29
Gambar 2 4 Profil Baja.	30
Gambar 2 5 Kurva hubungan tegangan (f) dan regangan (ϵ).....	32
Gambar 2 6 Kurva hubungan tegangan (f) dan regangan (ϵ) yang diperbesar.	32
Gambar 2 9 denah struktur gedung yang mengalami rotasi akibat momen putir tingkat horizontal.	40
Gambar 2 13 Macam-macam Shear Connector dan bentuknya	46
Gambar 2 14 Modulus Penampang Berbagai Tipe Profil Simetri.....	48
Gambar 2 15 Distribusi tegangan pada level beban berbeda.	49
Gambar 2 16 Profil Baja Wide Flange Shapes.....	52
Gambar 2 17 Tahanan Nominal Penampang Kompak Dan Tak Kompak	54
Gambar 2 18 Pengaruh Tegangan Residual Kolom pada Diagram Tegangan-Regangan.....	61
Gambar 2 19 Panjang efektif kolom.....	64
Gambar 2 20 Nilai k_c untuk komponen struktur tak bergoyang dan struktur bergoyang.	65
Gambar 2 21 Perletakan Baut.....	74
Gambar 2 22 Sambungan Siku Rangka rigid.....	77
Gambar 2 23 Sambungan balok-kolom	78

Gambar 2 24 Sambungan pelat ujung.....	81
Gambar 2 25 Sambungan balok rangka	85
Gambar 2 26 Macam –macam sambungan kolom	87
Gambar 2 27 Konstruksi dasar kolom	91
Gambar 4 1 Kolom Beton	96
Gambar 4 2 Kolom Baja	97
Gambar 4 3 Respons Spectrum Gempa Rencana	115
Gambar 4 1 Kolom Beton	96
Gambar 4 2 Kolom Baja	97
Gambar 4 3 Respons Spectrum Gempa Rencana	115
gambar 5 1 Balok T sebagai sistem lantai.....	121
Gambar 5 2 Sketsa perencanaan pada lapangan balok F3 - E3.....	122
Gambar 5 2 nomor balok kolom lantai 1	140
Gambar 5 4 contoh letak shear connector	168
Gambar 5.5 Rencana sambungan las pada shear connector.....	170
Gambar 5 6 sambungan kolom-balok memanjang tampak depan.....	176
Gambar. 5.7 sambungan kolom-balok memanjang tampak samping.....	176
Gambar 5.8 Sambungan Balok Induk – Balok Anak.....	183
Gambar 5.9 Sambungan Kolom-Kolom	187
Gambar 5.10 Sambungan Kolom- Plat dasar	193
Gambar 5.11 plat dasar kolom tampak atas	200

DAFTAR NOTASI BETON

- A Percepatan puncak Gempa Rencana pada taraf pembebanan nominal sebagai gempa masukan untuk analisis respons dinamik linier riwayat waktu struktur gedung.
- A_m Percepatan respons maksimum atau Faktor Respons Gempa maksimum pada Spektrum Respons Gempa Rencana.
- A_o Percepatan puncak muka tanah akibat pengaruh Gempa Rencana yang bergantung pada Wilayah Gempa dan jenis tanah tempat struktur gedung berada.
- A_r Pembilang dalam persamaan hiperbola Faktor Respons Gempa C pada Spektrum Respons Gempa Rencana.
- b Ukuran horisontal terbesar denah struktur gedung pada lantai tingkat yang ditinjau, diukur tegak lurus pada arah pembebanan gempa; dalam subskrip menunjukkan struktur bawah.
- c Dalam subskrip menunjukkan besaran beton.
- C Faktor Respons Gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi yang nilainya bergantung pada waktu getar alami struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam Spektrum Respons Gempa Rencana.

- C_v Faktor Respons Gempa vertikal untuk mendapatkan beban gempa vertikal nominal statik ekuivalen pada unsur struktur gedung yang memiliki kepekaan yang tinggi terhadap beban gravitasi.
- C_1 Nilai Faktor Respons Gempa yang didapat dari Spektrum Respons Gempa Rencana untuk waktu getar alami fundamental dari struktur gedung.
- d Dalam subskrip menunjukkan besaran desain atau dinding geser.
- d_i Simpangan horisontal lantai tingkat i dari hasil analisis 3 dimensi struktur gedung akibat beban gempa nominal statik ekuivalen yang menangkap pada pusat massa pada taraf lantai-lantai tingkat.
- D_n Beban mati nominal yang dapat dianggap sama dengan beban mati rencana yang ditetapkan dalam standar-standar pembebanan struktur gedung.
- e Eksentrisitas teoretis antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat struktur gedung; dalam subskrip menunjukkan kondisi elastik penuh.
- e_d Eksentrisitas rencana antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat struktur gedung.
- E_c Modulus elastisitas beton
- E_n Beban gempa nominal yang nilainya ditentukan oleh besarnya probabilitas beban itu dilampaui dalam kurun waktu tertentu, oleh faktor daktilitas

struktur gedung μ yang mengalaminya dan oleh faktor kuat lebih beban dan bahan f_1 yang terkandung di dalam struktur gedung tersebut.

- E_s Modulus elastisitas baja (= 200 GPa)
- f Faktor kuat lebih total yang terkandung di dalam struktur gedung secara keseluruhan, rasio antara beban gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan beban gempa nominal.
- f_1 Faktor kuat lebih beban dan bahan yang terkandung di dalam suatu struktur gedung akibat selalu adanya pembebanan dan dimensi penampang serta kekuatan bahan terpasang yang berlebihan dan nilainya ditetapkan sebesar 1,6.
- f_2 Faktor kuat lebih struktur akibat kehiperstatikan struktur gedung yang menyebabkan terjadinya redistribusi gaya-gaya oleh proses pembentukan sendi plastis yang tidak serempak bersamaan; rasio antara beban gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan beban gempa pada saat terjadinya pelelehan pertama.
- F_b Beban gempa horisontal nominal statik ekuivalen akibat gaya inersia sendiri yang menangkap pada pusat massa pada taraf masing-masing lantai besmen struktur bawah gedung.

- F_i Beban gempa nominal statik ekuivalen yang menangkap pada pusat massa pada taraf lantai tingkat ke-i struktur atas gedung.
- F_p Beban gempa nominal statik ekuivalen yang menangkap pada titik berat massa unsur sekunder, unsur arsitektur dan instalasi mesin dan listrik dalam arah gempa yang paling berbahaya.
- g Percepatan gravitasi; dalam subskrip menunjukkan momen yang bersifat momen guling.
- i Dalam subskrip menunjukkan nomor lantai tingkat atau nomor lapisan tanah.
- I Faktor Keutamaan gedung, faktor pengali dari pengaruh Gempa Rencana pada berbagai kategori gedung, untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian probabilitas dilampauinya pengaruh tersebut selama umur gedung itu dan penyesuaian umur gedung itu.
- I_1 Faktor Keutamaan gedung untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung.
- I_2 Faktor Keutamaan gedung untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian umur gedung.
- k Dalam subskrip menunjukkan kolom struktur gedung.
- K_p Nilai koefisien pembesaran respons unsur sekunder, unsur arsitektur atau instalasi mesin dan listrik, bergantung pada ketinggian tempat kedudukannya terhadap taraf penjepitan lateral.

- L_n Beban hidup nominal yang dapat dianggap sama dengan beban hidup rencana yang ditetapkan dalam standar-standar pembebanan struktur gedung.
- m Jumlah lapisan tanah yang ada di atas batuan dasar.
- M Momen lentur secara umum.
- M_{gm} Momen guling maksimum dari struktur atas suatu gedung yang bekerja pada struktur bawah pada taraf penjepitan lateral pada saat struktur atas berada dalam kondisi di ambang keruntuhan akibat dikerahkannya faktor kuat lebih total f yang terkandung di dalam struktur atas, atau akibat pengaruh momen leleh akhir sendi-sendi plastis pada kaki semua kolom dan semua dinding geser.
- M_n Momen nominal suatu penampang unsur struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan nominal, atau akibat pengaruh momen leleh sendi plastis yang sudah direduksi dengan faktor kuat lebih beban dan bahan f_1 .
- M_y Momen leleh awal sendi plastis yang terjadi pada ujung-ujung unsur struktur gedung, kaki kolom dan kaki dinding geser pada saat di dalam struktur tersebut akibat pengaruh Gempa Rencana terjadi pelelehan pertama.
- $M_{y,d}$ Momen leleh awal sendi plastis yang terjadi pada kaki dinding geser.
- $M_{y,k}$ Momen leleh awal sendi plastis yang terjadi pada kaki kolom.
- n Nomor lantai tingkat paling atas (lantai puncak); jumlah lantai tingkat struktur gedung; dalam subskrip menunjukkan besaran nominal.

- N Nilai hasil Test Penetrasi Standar pada suatu lapisan tanah; gaya normal secara umum.
- N_i Nilai hasil Test Penetrasi Standar pada lapisan tanah ke-i.
- \bar{N} Nilai rata-rata berbobot hasil Test Penetrasi Standar lapisan tanah di atas batuan dasar dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya.
- p Dalam subskrip menunjukkan unsur sekunder, unsur arsitektur atau instalasi mesin dan listrik.
- P Faktor kinerja unsur, mencerminkan tingkat keutamaan unsur sekunder, unsur arsitektur atau instalasi mesin dan listrik dalam kinerjanya selama maupun setelah gempa berlangsung.
- PI Indeks Plastisitas tanah lempung.
- Q_n Pembebanan nominal pada suatu struktur gedung, yaitu kombinasi beban-beban nominal, masing-masing tanpa dikalikan dengan faktor beban.
- Q_u Pembebanan ultimit pada suatu struktur gedung, yaitu kombinasi beban-beban ultimit, dihasilkan oleh kombinasi beban-beban nominal, masing-masing dikalikan dengan faktor beban.
- R Faktor reduksi gempa, rasio antara beban gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana pada struktur gedung elastik penuh dan beban gempa nominal akibat pengaruh Gempa Rencana pada struktur gedung daktail, bergantung pada faktor daktilitas struktur gedung

tersebut; faktor reduksi gempa representatif struktur gedung tidak beraturan.

- R_m Faktor reduksi gempa maksimum yang dapat dikerahkan oleh suatu jenis sistem atau subsistem struktur gedung.
- R_n Kekuatan nominal suatu struktur gedung, dihasilkan oleh kekuatan nominal unsur-unsurnya, masing-masing tanpa dikalikan dengan faktor reduksi.
- R_u Kekuatan ultimit suatu struktur gedung, dihasilkan oleh kekuatan ultimit unsur-unsurnya, yaitu kekuatan nominal yang masing-masing dikalikan dengan faktor reduksi.
- R_x Faktor reduksi gempa untuk pembebanan gempa dalam arah sumbu-x pada struktur gedung tidak beraturan.
- R_y Faktor reduksi gempa untuk pembebanan gempa dalam arah sumbu-y pada struktur gedung tidak beraturan.
- s Dalam subskrip menunjukkan besaran subsistem, struktur atau baja.
- S_u Kuat geser niralir lapisan tanah.
- S_{ui} Kuat geser niralir lapisan tanah ke-i.
- \bar{S}_u Kuat geser niralir rata-rata berbobot dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya.
- t_i Tebal lapisan tanah ke-i.
- T Waktu getar alami struktur gedung dinyatakan dalam detik yang menentukan besarnya Faktor Respons Gempa struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam Spektrum Respons Gempa Rencana.

- T_1 Waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan maupun tidak beraturan dinyatakan dalam detik.
- T_c Waktu getar alami sudut, yaitu waktu getar alami pada titik perubahan diagram C dari garis datar menjadi kurva hiperbola pada Spektrum Respons Gempa Rencana.
- u Dalam subskrip menunjukkan besaran ultimit.
- v_s Kecepatan rambat gelombang geser.
- \bar{v}_s Kecepatan rambat rata-rata berbobot gelombang geser dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya.
- v_{si} Kecepatan rambat gelombang geser di lapisan tanah ke-i.
- V Beban (gaya) geser dasar nominal statik ekuivalen akibat pengaruh Gempa Rencana yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung beraturan dengan tingkat daktilitas umum, dihitung berdasarkan waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan tersebut.
- V_e Pembebanan gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung elastik penuh dalam kondisi di ambang keruntuhan.
- V_m Pembebanan gempa maksimum akibat pengaruh Gempa Rencana yang dapat diserap oleh struktur gedung dalam kondisi di ambang keruntuhan dengan pengerahan faktor kuat lebih total f yang terkandung di dalam struktur gedung.

- V_n Pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan nominal untuk struktur gedung dengan tingkat daktilitas umum; pengaruh Gempa Rencana pada saat di dalam struktur terjadi pelelehan pertama yang sudah direduksi dengan faktor kuat lebih beban dan bahan f_1 .
- V_s Gaya geser dasar nominal akibat beban gempa yang dipikul oleh suatu jenis subsistem struktur gedung tertentu di tingkat dasar.
- V_t Gaya geser dasar nominal akibat pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan nominal yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung dan yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respons atau dari hasil analisis respons dinamik riwayat waktu.
- V_x^o Gaya geser dasar nominal akibat pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan nominal yang bekerja dalam arah sumbu-x di tingkat dasar struktur gedung tidak beraturan.
- V_y^o Gaya geser dasar nominal akibat pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan nominal yang bekerja dalam arah sumbu-y di tingkat dasar struktur gedung tidak beraturan.
- V_1 Gaya geser dasar nominal yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung tidak beraturan dengan tingkat daktilitas umum, dihitung berdasarkan waktu getar alami fundamental struktur gedung.
- w_n Kadar air alami tanah.

- W_b Berat lantai besmen struktur bawah suatu gedung, termasuk beban hidup yang sesuai.
- W_i Berat lantai tingkat ke- i struktur atas suatu gedung, termasuk beban hidup yang sesuai.
- W_p Berat unsur sekunder, unsur arsitektur atau instalasi mesin dan listrik.
- W_t Berat total gedung, termasuk beban hidup yang sesuai.
- x Penunjuk arah sumbu koordinat (juga dalam subskrip).
- y Penunjuk arah sumbu koordinat (juga dalam subskrip); dalam subskrip menunjukkan pembebanan pada saat terjadinya pelelehan pertama di dalam struktur gedung atau momen yang bersifat momen leleh.
- z_i Ketinggian lantai tingkat ke- i suatu struktur gedung terhadap taraf penjepitan lateral.
- z_n Ketinggian lantai tingkat puncak n suatu struktur gedung terhadap taraf penjepitan lateral.
- z_p Ketinggian tempat kedudukan unsur sekunder, unsur arsitektur atau instalasi mesin dan listrik terhadap taraf penjepitan lateral.
- β (beta) Indeks kepercayaan (*reliability index*), suatu bilangan yang bila dikalikan dengan deviasi standar distribusi besaran $\ln (R_u/Q_u)$, kemudian dikurangkan dari nilai rata-rata besaran tersebut, menghasilkan suatu nilai

besaran itu yang probabilitas untuk dilampauinya terbatas pada suatu persentase tertentu, di mana R_u adalah kekuatan ultimit struktur gedung yang ditinjau dan Q_u adalah pembebanan ultimit pada struktur gedung itu.

- γ (gamma) Faktor beban secara umum.
- γ_D (gamma-D) Faktor beban untuk beban mati nominal.
- γ_E (gamma-E) Faktor beban untuk beban gempa nominal.
- γ_L (gamma-L) Faktor beban untuk beban hidup nominal.
- δ_m (delta-m) :Simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan.
- δ_y (delta-y) :Simpangan struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat terjadinya pelelehan pertama.
- ζ (zeta) :Koefisien pengali dari jumlah tingkat struktur gedung yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung, bergantung pada Wilayah Gempa.
- η (eta): Faktor pengali dari simpangan struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan nominal untuk mendapatkan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama.
- μ (mu) :Faktor daktilitas struktur gedung, rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat

mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama.

μ_m (mu-m) Nilai faktor daktilitas maksimum yang dapat dikerahkan oleh suatu sistem atau subsistem struktur gedung.

ξ (ksi) : Faktor pengali dari simpangan struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan nominal untuk mendapatkan simpangan maksimum struktur gedung pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan.

σ (sigma) Deviasi standar distribusi besaran $\ln (R_u/Q_u)$, di mana R_u adalah

kekuatan ultimit struktur gedung yang ditinjau dan Q_u adalah pembebanan ultimit pada struktur gedung itu.

Σ (sigma) Tanda penjumlahan.

ϕ (phi): Faktor reduksi kekuatan secara umum.

ψ (psi): Koefisien pengali dari percepatan puncak muka tanah (termasuk faktor keutamaannya) untuk mendapatkan faktor respons gempa vertikal, bergantung pada Wilayah Gempa.

DAFTAR NOTASI BAJA

f	tegangan
\mathcal{E}	regangan
f_p	batas proposional
f_e	batas elastis
f_y, f_u	tegangan leleh atas dan bawah
f_u	tegangan putus
\mathcal{E}_{sh}	regangan saat mulai terjari efek strain-hardening penguatan regangan
\mathcal{E}_{sh}	regangan saat tercapainya tegangan putus.
E	modulus elastisitas baja, (MPa)
E_c	modulus elastisitas beton, (MPa)
G	modulus geser, (MPa)
μ	nisbah poisson
α	koefisien pemuaian
γ_i	faktor beban ($\gamma_i \geq 1$)
Q_i	beban rencana i
ϕ	faktor reduksi ($\phi \leq 1$)
R_u	adalah beban terfaktor atau kuat perlu
R_n	adalah kuat rencana
D	adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap
E	adalah beban gempa

- L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain
- H adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air
- La adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak
- W adalah beban angin
- T_x, T_x periode getar alami fundamental (detik)
- W_i berat lantai ke- i
- F_i beban gempa nominal statik ekuivalen
- g adalah percepatan gravitasi yang ditetapkan sebesar $9810 \text{ (mm/det}^2\text{)}$
- T_1 waktu getar alami fundamental
- C_1 Faktor Respons Gempa
- z_i adalah ketinggian lantai tingkat ke- i
- f_{cr} adalah tegangan kritis penampangtertekan, (MPa)
- f_y adalah tegangan leleh material, (MPa)
- I adalah momen inersia, (mm^4)
- k_c adalah faktor panjang tekuk
- L adalah tinggi tingkat atau panjang komponen struktur tekan, (mm)
- L_b adalah panjang bagian pelat sayap tekan tanpa pengekang lateral, (mm)
- N_n adalah kuat aksial nominal komponen struktur, (N)
- N_u adalah beban aksial terfaktor, (N)

λ_c adalah parameter kelangsingan batang tekan

λ_p adalah batas perbandingan lebar terhadap tebal untuk penampang kompak

λ_r adalah batas perbandingan lebar terhadap tebal untuk penampang tak kompak

KOMPONEN STRUKTUR LENTUR

A adalah luas penampang, mm²

a adalah jarak antara dua pengaku vertikal, (mm)

A_e adalah luas efektif penampang, (mm²)

A_f adalah luas efektif pelat sayap, (mm²)

b_f adalah lebar sayap, (mm)

b_{cf} adalah lebar pelat sayap penampang kolom, (mm)

b_s adalah lebar pengaku, (mm)

C_b adalah koefisien pengali momen tekuk torsi lateral

C_r adalah konstanta untuk penentuan kekuatan tekuk lateral pelat badan

C_v adalah rasio kuat geser

D adalah diameter penampang pipa, (mm)

d adalah tinggi penampang, (mm)

db adalah tinggi penampang balok, (mm)

dc adalah tinggi penampang kolom, (mm)

df adalah jarak antara titik berat pelat sayap, (mm)

E adalah modulus elastisitas baja, (MPa)

F_c	adalah tegangan acuan untuk momen kritis tekuk torsi lateral, (MPa)
F_{cr}	adalah tegangan kritis, (MPa)
f_f	adalah tegangan leleh atau kritis pada pelat sayap tekan , (MPa)
f_L	adalah tegangan leleh dikurangi tegangan sisa, (MPa)
f_r	adalah tegangan sisa, (MPa)
f_y	adalah tegangan leleh, (MPa)
G	adalah modulus geser baja, (MPa)
h	adalah tinggi bersih balok pelat ber dinding penuh, (mm)
I_s	adalah momen inersia pengaku terhadap muka pelat badan, (mm ⁴)
I_w	adalah konstanta puntir lengkung, (mm ⁶)
J	adalah konstanta puntir torsi, (mm ⁴)
K	adalah tebal pelat sayap ditambah hari-jari peralihan, (mm)
K_c	adalah faktor kelangsingan pelat badan
k_v	adalah koefisien tekuk geser pelat
L	adalah panjang bentang antara dua pengekang lateral yang berdekatan, (mm)
L_p	adalah panjang bentang maksimum untuk balok yang mampu menerima momen plastis, (mm)
L_r	adalah panjang bentang minimum untuk balok yang kekuatannya mulai ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral, (mm)
L_w	adalah ukuran lubang pelat badan bagian dalam yang terbesar, (mm)
M_u	adalah momen lentur perlu, (N-mm)
M_{cr}	adalah momen kritis terhadap tekuk torsi lateral, (N-mm)

M_f adalah kuat lentur nominal dihitung hanya dengan pelat sayap saja , (N-mm)

M_p adalah momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh, (N-mm)

M_r adalah momen batas tekuk, (N-mm)

M_n adalah kuat lentur nominal balok, (N-mm)

M_{ux} adalah kuat lentur perlu terhadap sumbu- x , (N-mm)

M_{uy} adalah kuat lentur perlu terhadap sumbu- y , (N-mm)

M_y adalah momen lentur yang menyebabkan penampang mulai mengalami tegangan leleh, (N-mm)

N_y adalah gaya aksial yang menyebabkan kolom mengalami tegangan leleh, (N)

N adalah dimensi longitudinal dari perletakan atau tumpuan, (N)

R adalah koefisien balok pelat berdinding penuh, (N)

R_b adalah kuat tumpu nominal pelat badan akibat beban terpusat atau setempat atau terhadap tekuk, (N)

R_v adalah kuat geser panel, (N)

R_t adalah jari-jari girasi daerah pelat sayap ditambah sepertiga bagian pelat badan yang mengalami tekan, (mm)

R_y adalah jari-jari girasi terhadap sumbu lemah, (mm)

S adalah modulus penampang, (mm³)

T_{cf} adalah tebal pelat sayap penampang kolom, (mm)

t_f adalah tebal pelat sayap, (mm)

t_s adalah tebal pengaku, (mm)
 t_w adalah tebal pelat badan, (mm)
 V_u adalah gaya geser perlu, (N)
 V_v adalah kuat geser nominal pelat badan, (N)
 M adalah konstanta seperti tercantum pada Gambar 9.3-1
 N adalah jumlah unsur diagonal pada suatu potongan mendatar dari komponen struktur tersusun
 r_x adalah jari-jari girasi komponen struktur terhadap sumbu $x-x$, (mm)
 r_y adalah jari-jari girasi komponen struktur terhadap sumbu $y-y$, (mm)
 r_{min} adalah jari-jari girasi komponen struktur tersusun terhadap sumbu yang memberikan nilai yang terkecil (sumbu $l-l$), (mm)
 x_o, y_o adalah koordinat pusat geser terhadap titik berat penampang, (mm)
 A_g adalah luas penampang kotor, mm²
 A_e adalah luas penampang efektif, (mm)
 D adalah diameter lubang baut, (mm)
 f_y adalah tegangan leleh, (MPa)
 f_u adalah tegangan tarik putus, (MPa)
 L adalah panjang sambungan dalam arah
 S adalah jarak antara sumbu lubang pada arah sejajar sumbu komponen struktur, (mm)
 T adalah tebal penampang, (mm)
 ϕ adalah faktor reduksi kekuatan
 ϕ_b adalah faktor reduksi kuat lentur

λ_c adalah parameter kelangsingan

M_p adalah momen plastis penampang $\leq 1,5 f_y S$, (N-mm)

M_{ux}, M_{uy} adalah pada komponen struktur, di mana telah diperhitungkan kontribusi momen lentur orde kedua yang terjadi pada konfigurasi struktur yang telah berdeformasi, (N-mm)

M_{nx}, M_{ny} adalah kuat lentur nominal penampang terhadap sumbu- x dan sumbu- y

KOMPONEN STRUKTUR TEKAN

a adalah jarak antara dua pusat titik berat elemen komponen struktur, mm

A adalah luas penampang komponen struktur tersusun, mm²

A_d adalah luas penampang satu unsur diagonal, mm²

D_u adalah gaya lintang akibat beban terfaktor, N

e_x adalah eksentrisitas, (mm)

f_{cry} adalah tekuk lentur terhadap sumbu lemah y , dan dengan menggunakan harga λ_c , yang dihitung dengan rumus , (MPa)

I_p adalah momen inersia pelat kopel

I_l adalah momen inersia sebuah elemen pada komponen struktur tersusun terhadap sumbu yang memberikan nilai terkecil (sumbu $l-l$), (mm⁴)

L_{kx} adalah panjang tekuk komponen struktur tersusun pada arah tegak lurus sumbu $x-x$, dengan memperhatikan pengekang lateral yang ada, dan kondisi jepitan ujung-ujung komponen struktur, (mm)

L_{ky} adalah panjang tekuk komponen struktur tersusun pada arah tegak lurus sumbu $y-y$, dengan memperhatikan pengeang lateral yang ada dan kondisi jepitan ujung-ujung komponen struktur, (mm)

L_d adalah panjang unsur diagonal, (mm)

L_l adalah panjang elemen pada komponen struktur, yang dibatasi oleh dua ujung unsur penghubung, (mm)

m adalah konstanta

n adalah jumlah unsur diagonal suatu potongan mendatar dari komponen struktur tersusun

N_n adalah kuat tekan nominal komponen struktur, (N)

N_u adalah kuat tekan perlu yang merupakan gaya aksial tekan akibat beban terfaktor, N

r_x adalah jari-jari girasi komponen struktur terhadap sumbu $x-x$, (mm)

r_y adalah jari-jari girasi komponen struktur terhadap sumbu $y-y$, (mm)

r_{min} adalah jari-jari girasi komponen struktur tersusun terhadap sumbu yang memberikan nilai yang terkecil (sumbu $l-l$), (mm)

x_o, y_o adalah koordinat pusat geser terhadap titik berat penampang, mm

α adalah sudut antara unsur diagonal dengan elemen vertikal pada komponen struktur tersusun

ω_x adalah koefisien tekuk yang ditentukan dengan mengambil panjang tekuk

L_{kx} sama dengan 0,7 kali panjang skematisnya dan jari-jari girasinya, r_x

ω_{max} adalah koefisien tekuk komponen struktur pada rangka batang yang ditentukan dengan mengambil panjang tekuk L_k sama dengan panjang skematisnya, dan jari-jari girasi r_{η} terhadap sumbu

ϕ_n adalah faktor reduksi kekuatan

KOMPONEN STRUKTUR KOMPOSIT

AB adalah luas daerah tumpuan pada beton, (mm²)

A_c adalah luas penampang beton, (mm²)

A_r adalah luas penampang tulangan longitudinal, (mm²)

A_s adalah luas penampang profil baja, (mm²)

A_{sc} adalah luas penampang penghubung geser jenis paku, (mm²)

b adalah lebar penampang persegi berongga, (mm)

c_1, c_2, c_3 adalah koefisien untuk perhitungan karakteristik material kolom komposit

C_f adalah gaya tekan pada pelat beton untuk kondisi komposit penuh, (N)

D adalah diameter luar penampang baja, (mm)

E adalah modulus elastisitas baja, (MPa)

E_c adalah modulus elastisitas beton, (MPa)

E_m adalah modulus elastisitas untuk perhitungan kolom komposit, (MPa)

f_{cr} adalah tegangan tekan kritis, (MPa)

F_{my} adalah tegangan leleh untuk perhitungan kolom komposit, (MPa)

F_u adalah kuat tarik putus penghubung geser jenis paku, (MPa)

f_y adalah tegangan leleh profil baja, (MPa)
 f_{yf} adalah tegangan leleh bagian sayap profil baja, (MPa)
 f_{yr} adalah tegangan leleh tulangan longitudinal, (MPa)
 f_{yw} adalah tegangan leleh bagian badan profil baja, (MPa)
 f_c' adalah kuat tekan karakteristik beton, (MPa)
 H_s adalah tinggi penghubung geser jenis paku, (mm)
 h adalah tinggi bersih badan baja profil, (mm)
 h_r adalah tinggi nominal gelombang pelat baja berprofil, (mm)
 I_s adalah momen inersia penampang baja, (mm⁴)
 I_r adalah momen inersia penampang balok komposit penuh yang belum retak, (mm⁴)
 K_c adalah faktor panjang efektif kolom
 L_c adalah panjang penghubung geser kanal, (mm)
 L adalah panjang komponen struktur, (mm)
 M_n adalah kuat lentur nominal, (N-mm)
 M_{nx} adalah kuat lentur nominal terhadap sumbu-x, (N-mm)
 M_{ny} adalah kuat lentur nominal terhadap sumbu-y, (N-mm)
 M_{ux} adalah kuat lentur perlu terhadap sumbu-x, (N-mm)
 M_{uy} adalah kuat lentur perlu terhadap sumbu-y, (N-mm)
 N_r adalah jumlah penghubung geser jenis paku pada setiap gelombang pelat berprofil di perpotongannya dengan balok, (N)
 N_n adalah kuat aksial nominal, (N)
 N_u adalah kuat aksial perlu, (N)

- Q_n adalah kapasitas geser untuk penghubung geser, (N)
- R_m adalah jari-jari girasi kolom komposit, (mm)
- t_f adalah tebal sayap, (mm)
- t_w adalah tebal badan, (mm)
- w adalah berat jenis beton, (kg/m³)
- w_r adalah lebar efektif gelombang pelat baja berprofil, (mm)
- λ_c adalah parameter kelangsingan
- ϕ_b adalah faktor reduksi kuat lentur
- ϕ_c adalah faktor reduksi kuat aksial tekan
- ΣQ_n adalah jumlah kekuatan penghubung-penghubung geser di sepanjang daerah yang dibatasi oleh momen maksimum dan momen nol, (N)
- ω adalah faktor tekuk

SAMBUNGAN

- A_b adalah luas penampang bruto, (mm²)
- d adalah kedalaman yang dipersiapkan untuk las, (mm)
- d_b adalah diameter baut nominal pada daerah tak berulir, (mm)
- f_1, f_2 adalah konstanta tegangan dalam perhitungan, (MPa)
- f_t adalah tegangan tarik dengan memperhitungkan ada atau tidak adanya ulir baut pada bidang geser, (MPa)
- f_u adalah tegangan tarik putus pelat, (MPa)
- b
- f_u adalah tegangan tarik putus baut, (MPa)
- f_{uv} adalah tegangan geser akibat beban terfaktor pada suatu baut, (MPa)

f_{uw} adalah tegangan tarik putus material las, (MPa)

f_y adalah tegangan leleh material, (MPa)

f_{yw} adalah tegangan leleh material las, (MPa)

L_s adalah jarak antara titik pengekang lateral efektif, (mm)

M_u adalah momen lentur terfaktor atau momen perlu, (N-mm)

M adalah jumlah bidang geser

N_n adalah kuat tekan nominal komponen struktur, (N)

N_u adalah gaya aksial terfaktor, (N)

N adalah jumlah baut

R_d adalah kuat rencana, (N)

R_n adalah kuat nominal, (N)

R_{nw} adalah kuat nominal sambungan las, (N)

R_u adalah beban terfaktor atau kuat perlu, (N)

r_1, r_2 adalah faktor modifikasi tegangan untuk memperhitungkan ada atau tidak adanya ulir baut pada bidang geser

s_g adalah jarak pada arah tegak lurus gaya antara dua irisan yang berdekatan yang mengandung lubang baut, (mm)

s_p adalah jarak pada arah gaya antara dua irisan yang berdekatan yang mengandung lubang baut, (mm)

T_b adalah gaya pratarik baut minimum yang diberikan pada saat pengencangan, (N)

T_d adalah kuat tarik rencana, (N)

T_n adalah kuat tarik nominal, (N)

- T_u adalah gaya tarik terfaktor, (N)
- t, t_p adalah tebal pelat, (mm)
- t_l adalah tebal rencana las, (mm)
- t_w adalah tebal minimum las sudut, (mm)
- V_d adalah kuat geser rencana baut, (N)
- V_n adalah kuat geser nominal baut, (N)
- V_u adalah gaya geser terfaktor, (N)
- δ adalah faktor amplifikasi momen
- δ_b adalah faktor amplifikasi momen untuk komponen struktur yang tidak dapat bergoyang
- δ_s adalah faktor amplifikasi momen untuk komponen struktur yang dapat bergoyang
- ϕ adalah faktor reduksi kekuatan
- ϕ_f adalah faktor reduksi kekuatan saat fraktur
- ϕ_y adalah faktor reduksi kekuatan saat leleh

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Bangunan Tahan Gempa

Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh gempa rencana, semua unsur gedung, baik bagian dari subsistem struktur gedung maupun bagian dari sistem struktur gedung seperti rangka (portal), dinding geser, kolom, balok, lantai, dan kombinasinya, harus diperhitungkan memikul pengaruh gempa rencana, sehingga struktur yang direncanakan tidak akan mengalami kerusakan pada waktu menahan beban gempa yang kecil atau sedang dan tidak mengalami keruntuhan yang fatal ketika terjadi gempa yang kuat. Struktur yang direncanakan diharapkan mampu bertahan oleh beban bolak-balik memasuki perilaku inelastic tanpa mengurangi kekuatannya yang berarti. Karena itu, selisih energi beban gempa harus mampu disebarkan dan diserap oleh struktur yang bersangkutan dalam bentuk kemampuan berdeformasi secara inelastis. Kemampuan ini disebut sebagai kemampuan daktilitas struktur.

Daktilitas juga dapat diartikan kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dibolak-balik akibat gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri walaupun sudah berada dalam kondisi ambang keruntuhan.

2.2 Faktor Beban

Tujuan dari faktor beban adalah untuk menaikkan nilai beban akibat ketidakpastian dalam menghitung besar beban mati dan beban hidup. Misalnya, berapa besar ketelitian yang dapat anda lakukan dalam menghitung beban angin yang bekerja pada gedung perkuliahan atau rumah anda sendiri. Nilai faktor beban yang digunakan untuk beban mati lebih kecil dari pada untuk beban hidup karena perancang teknik dapat menentukan dengan lebih pasti besar beban mati dibandingkan dengan beban hidup. Beban yang berada pada tempatnya untuk waktu yang lama variasi besar bebannya akan lebih kecil, sedangkan untuk beban yang bekerja pada waktu relatif pendek akan mempunyai variasi yang besar.

2.3 Macam-macam pembebanan

Perilaku struktur sangat dipengaruhi oleh beban yang dipikul, penentuan beban yang bekerja pada struktur atau elemen struktur secara tepat tidak selalu biasa dilakukan. Pada umumnya penentuan besarnya beban hanya merupakan suatu estimasi saja. Meskipun beban yang bekerja pada suatu lokasi dari struktur dapat diketahui secara pasti, namun distribusi beban dari elemen ke elemen dalam suatu struktur umumnya memerlukan asumsi dan pendekatan. Jika beban-beban yang bekerja pada suatu struktur telah diestimasi, maka masalah berikutnya adalah menentukan kombinasi-kombinasi beban yang paling dominan yang mungkin bekerja pada struktur tersebut. Besar beban yang bekerja pada suatu struktur diatur oleh SNI 03-1729-2002 pasal 6.2.2 yang akan dibahas kemudian. Beberapa jenis beban yang paling umum antara lain :

1. Beban Mati

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur (beban akibat gravitasi). Berat sendiri struktur dan komponen-komponen bangunan (penutup lantai, plafond, dan sebagainya) termasuk dalam beban mati. Untuk menghitung beban mati suatu komponen gedung didasarkan pada volume elemen dan berat (*unit weight*) material.

2. Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai akibat barang yang dapat berpindah, mesin-mesin, serta peralatan yang tersimpan dalam gedung. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat pindah atau bergerak dan bekerja vertikal ke bawah. Selain itu beban hidup ini bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu. Beban hidup lantai pada struktur gedung untuk beberapa jenis penggunaan gedung dapat diambil pada tabel 1.1. Untuk beban hidup pada atap atau bagian atap seperti *canopy* yang dapat dicapai dan dibebani oleh orang, dapat diambil minimum sebesar 100 kg/cm^2 bidang datar. Sedangkan untuk beban terpusat dari seorang pekerja dengan peralatannya diambil minimum sebesar 100 kg.

table 2 1 Beban hidup pada lantai gedung

Kegunaan Bangunan	Berat(kg/m ²)
Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana	125
Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran , hotel, asrama, dan rumah sakit	250
Lantai ruang olah raga	400
Lantai pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, ruang mesin, dan lain-lain	400
Lantai gedung parkir bertingkat :	
- Lantai bawah	800
- Lantai atas	400

(Sumber :*Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung,1987 :hal 12*).

3.Beban Angin

Beban angin adalah beban yang bekerja pada struktur akibat tekanan – tekanan dari gerakan angin. Besar tekanan atau isapan yang diakibatkan oleh angin pada suatu titik bergantung pada kecepatan angin, rapat massa udara, lokasi struktur yang ditinjau, perilaku permukaan struktur, bentuk geometris struktur, dimensi struktur, dan kekakuan keseluruhan struktur. Secara umum tekanan tiup angin diambil sebesar minimum 25 kg/m². Untuk daerah laut dan tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai tekanan tiup angin harus diambil minimum 40 kg/m².

4.Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada struktur akibat adanya pergerakan tanah oleh gempa bumi, baik pergerakan arah vertikal maupun horizontal. Namun pada umumnya percepatan percepatan tanah arah

horizontal lebih besar daripada arah vertikalnya, sehingga pengaruh gempa horizontal jauh lebih menentukan daripada gempa vertikal.

2.4 Kombinasi pembebanan

Menurut peraturan baja Indonesia, SNI 03-1729-2002 pasal 6.2.2 mengenai kombinasi pembebanan, dinyatakan bahwa dalam perencanaan suatu struktur baja haruslah diperhatikan jenis-jenis kombinasi pembebanan sebagai berikut ini :

$$1,4D \dots\dots\dots (1a)$$

$$1,2D + 1,6 L + 0,5 (L_a \text{ atau } H) \dots\dots\dots (1b)$$

$$1,2D + 1,6 (L_a \text{ atau } H) + (\gamma L L \text{ atau } 0,8W) \dots\dots\dots (1c)$$

$$1,2D + 1,3 W + \gamma L L + 0,5 (L_a \text{ atau } H) \dots\dots\dots (1d)$$

$$1,2D \pm 1,0E + \gamma L L \dots\dots\dots (1e)$$

$$0,9D \pm (1,3W \text{ atau } 1,0E) \dots\dots\dots (1f)$$

Keterangan:

1. D adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap
2. L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain
3. L_a adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak
4. H adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan angin air

5. *W* adalah beban angin
6. *E* adalah beban gempa, yang ditentukan menurut SNI 03–1726–1989, atau penggantinya.

2.5 Beban Kombinasi

Beban kombinasi adalah gabungan dari beban-beban yang bekerja pada suatu struktur. Pada beban kombinasi ini beban-beban dikalikan faktor keamanan.

2.6 Struktur Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan

Struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan, apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m
- Denah gedung struktur adalah persegi panjang tanpa tonjolan walaupun mempunyai tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25 % dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut.
- Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut dan walaupun mempunyai coakan sudut, panjang sisi coakan tersebut tidak lebih dari 15 % dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah sisi coakan tersebut.
- Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem panahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama ortogonal denah struktur gedung secara keseluruhan.
- Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidang muka dan walaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah, tidak kurang dari 75% dari

ukuran terbesar denah struktur bagian gedung sebelah bawahnya. Dalam hal ini, struktur rumah atap yang tingginya tidak lebih dari 2 tingkat tidak perlu dianggap menyebabkan adanya loncatan bidang muka.

- Sistem struktur gedung memiliki kekakuan lateral yang beraturan, tanpa adanya tingkat lunak. Yang dimaksud dengan tingkat lunak adalah suatu tingkat, dimana kekakuan lateralnya adalah kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan kekakuan lateral suatu tingkat adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan satu kesatuan simpangan antar tingkat.
- Sistem struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap lantai tingkat memiliki berat yang tidak lebih dari 150% dari berat lantai tingkat di atasnya atau dibawahnya. Berat atap atau rumah atap tidak perlu memenuhi ketentuan ini.
- Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sistem penahan beban lateral yang menerus, tanpa perpindahan titik beratnya, kecuali bila perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.
- Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Walaupun ada lantai tingkat dengan lubang atau bukaan seperti itu jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari jumlah lantai tingkat seluruhnya.

Untuk struktur gedung beraturan, pengaruh Gempa Rencana dapat ditinjau sebagai pengaruh beban gempa static ekuivalen, sehingga menurut standar ini analisisnya dapat dilakukan berdasarkan analisis static ekuivalen.

Struktur gedung yang tidak memenuhi ketentuan menurut pasal 4.2.1, ditetapkan sebagai struktur gedung tidak beraturan. Untuk struktur gedung tidak beraturan, pengaruh Gempa Rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan gempa dinamik, sehingga analisisnya harus dilakukan berdasarkan analisis respons dinamik.

2.7 Dasar Perencanaan Balok

Metode perkiraan yang digunakan baik untuk balok T murni maupun persegi pada pelaksanaannya dilakukan dengan memperkirakan nilai z yang kemudian digunakan untuk menentukan nilai A_s . Cara tersebut dapat digunakan untuk berbagai macam bentuk balok karena bagaimanapun perkiraan rencana tersebut selalu diikuti dan diperiksa dengan proses analisis. Tetapi secara khusus metode tersebut bekerja dengan baik untuk perencanaan balok T yang bentuk dasarnya sedemikian, sehingga titik balok tegangan tekan berlokasi di tempat yang tidak jauh dari tengah-tengah flens sehingga mudah untuk memperkirakan nilai z (istimawan Dhipohusodo, Struktur Beton Bertulang hal : 83).

2.7.1 Perencanaan Balok Bertulang Rangkap

Balok adalah elemen struktur yang menyalurkan beban-beban *tributary* dari plat lantai ke kolom penyangga yang vertikal. Adapun beban-beban yang bekerja pada balok tersebut berdasarkan pada peraturan pembebanan yaitu PPIUG 1987 yang dimodelkan dalam suatu mekanika pembebanan.

- Dimensi balok

Dimensi balok ditaksir :

- o Tinggi balok (h) $= \frac{1}{10} l - \frac{1}{15} l$
- o Lebar balok (b) $= \frac{1}{2} h - \frac{2}{3} h$
- o Tinggi efektif balok (d), $d = \text{tinggi balok} - \text{selimut balok} - \frac{1}{2} \emptyset$

(Sumber : Ir. Gideon H. Kusuma, M.T, Eng, Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang Hal : 104)

2.7.2 Perencanaan Balok dengan Tulangan Tekan dan Tarik (Rangkap)

Apabila pengamatan menunjukkan bahwa penampang balok persegi bertulangan tarik saja tidak kuat untuk menahan beban tertentu dan ukurannya tidak memungkinkan untuk diperbesar karena alasan tertentu. Bila saja tulangan ditambah, balok akan mendapatkan tulangan tambahan dengan resiko bahwa baja tidak akan melampaui batas leleh. Hal ini berarti, bila beban pada balok ditingkatkan dapat terjadi keruntuhan tiba-tiba karena hancurnya beton pada daerah tekan, resiko ini dapat diatasi dengan memasang tulangan tambahan baik pada daerah tekan, maupun pada daerah tarik (tulangan rangkap).

Bila $\rho > \rho_{max}$ maka terdapat dua alternatif

- Sesuaikanlah ukuran penampang balok
- Bila tidak memungkinkan, maka dipasang tulangan rangkap

2.7.3 Analisa Penampang Balok Bertulang Rangkap

Langkah-langkah analisa balok bertulangan rangkap (beton bertulang istimewa Dipohusodo, hal:95)

1. Anggap bahwa segenap penulangan meluluh, maka $f_s = f_s' = f_y$ dan $A_{s2} = A_s'$
2. Dengan menggunakan persamaan pasangan kopel beton tekan dan tulangan baja tarik, dan $A_{s1} = A_s - A_s'$, hitunglah tinggi balok tegangan tekan $\alpha =$

$$\frac{A_s - A_s' f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \dots\dots\dots(2)$$
3. Tentukan letak garis netral, $c = \frac{\alpha}{\beta_1} \dots\dots\dots(3)$
4. Dengan menggunakan diagram regangan memeriksa regangan tulangan baja tekan maupun tarik, untuk membuktikan apakah anggapan pada langkah awal benar.

$$\epsilon = \frac{c-d}{c} (0,003) \dots\dots\dots(4)$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} (0,003) \dots\dots\dots(5)$$

Dengan menganggap $\epsilon_s \geq \epsilon_y$, yang berarti tulangan baja tarik leleh meluluh, akan timbul salah satu dari dua kondisi berikut:

- a. Kondisi I : $\epsilon_s \geq \epsilon_y$, menunjukkan bahwa anggapan pada langkah awal betul dan tulangan baja tekan leleh
- b. Kondisi II : $\epsilon_s \leq \epsilon_y$, menunjukkan bahwa anggapan pada langkah awal tidak betul dan tulangan baja tekan belum leleh.

Langkah-langkah perencanaan balok bertulang rangkap adalah sebagai berikut (beton bertulang, istimewa dipohusodo, hal.100)

Ukuran balok penampang sudah ditentukan:

1. Anggap bahwa $d = h - 100$

2. Menghitung momen rencana M_u .
3. Menghitung rasio penulangan pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan tarik, $\rho = 0,90$ ($\rho_{max} = 0,90$ ($0,75 \rho_b$)). Nilai ρ tersebut digunakan untuk mencapai k pada table.
4. Menentukan kapasitas momen dari pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik. $M_{R1} = \phi \cdot b^2 \cdot k$. menghitung tulangan baja tarik diperlukan untuk pasangan kopel gaya beton tekan dan tulangan baja tarik, $A_{s1} \text{ perlu} = \rho \cdot b \cdot d$(6)
5. Menghitung selisih momen, atau momen yang harus ditahan oleh pasangan gaya tulangan baja tekan dan tarik tambahan, $M_{R2} = M_u - M_{R1}$(7)
6. Dengan berdasarkan pada pasangan kopel gaya tulangan baja tekan dan tarik tambahan, hitung gaya tekan pada tulangan yang diperlukan (anggap bahwa $d' + 70 \text{ mm}$) . $N_{D2} = \frac{M_{R2}}{\phi(d-d')}$ (8)
7. Dengan $N_{D2} = A_{s'} \cdot f_s'$ hitung f_s' sedemikian sehingga $A_{s'}$ dapat ditentukan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan letak garis netral dari pasangan gaya beton tekan dan tulangan baja tarik kemudian memeriksa $\epsilon_{s'}$ pada tulangan tekan, sedangkan nilai ϵ_y didapat dari tabel

$$\alpha = \frac{A_{s1} \cdot f_y}{0,85 f_c' b} \dots\dots\dots(9)$$

$$c = \frac{\alpha}{\beta_1} \dots\dots\dots(10)$$

$$\epsilon_{s'} = \frac{c-d'}{c} (0,003) \dots\dots\dots(11)$$

Apabila $\epsilon_s' \geq \epsilon_y$ tulangan baja meluluh pada momen ultimit dan $f_s' = f_y$ sedangkan apabila $\epsilon_s' < \epsilon_y$ hitunglah $f_s = \epsilon_s' E_s$ dan gunakan tegangan tersebut untuk langkah berikutnya.

8. Karena $N_{D2} = A_s' \cdot f_s'$ maka $A_s' \text{ (perlu)} = \frac{N_{D2}}{f_s'} \dots\dots\dots(12)$

9. Menghitung A_s perlu, $A_s \text{ (perlu)} = \frac{f_s' \cdot A_s'}{f_y} \dots\dots\dots(13)$

10. Menghitung jumlah luas tulangan baja tarik total yang diperlukan, $A_s = A_{s1} + A_{s2}$

11. Memilih batang tulangan baja tekan A_s' .

12. Memilih batang tulangan baja tarik (A_s) periksa lebar balok dengan mengusahakan agar tulangan dapat dipasang dalam satu lapis baja.

13. Memeriksa d *aktual* dan bandingkan dengan d teoritis. Apabila d *aktual* sedikit lebih besar, berarti rancangan agak konservatif (lebih aman). Apabila d *aktual* lebih kecil yang berarti perancangan kurang aman, dilakukan perancangan ulang.

2.7.4 Perancangan Balok T

Balok yang dicor menjadi satu kesatuan monolit dengan plat lantai atau atap, didasarkan pada anggapan bahwa plat dan balok terjadi intraksi saat menahan momen lentur positif yang bekerja pada balok. Intraksi antar pelat dan balok tersebut membentuk huruf T sehingga disebut balok T. Plat akan berlaku sebagai sayap (flens) balok akan berlaku sebagai badan (web).

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 pasal 10.10 memberikan batasan lebar flens efektif (b_e) balok T seperti pada gambar 2.1 adalah sebagai berikut:

1. Lebar plat efektif sebagai bagian dari sayap balok T tidak boleh melebihi:

$$- be \leq \frac{1}{4} \text{ bentang balok } (\frac{1}{4} L) \dots\dots\dots(14)$$

$$- be \leq bw + 8 hf_{kiri} + 8 hf_{kanan} \dots\dots\dots(15)$$

$$- be \leq bw + \frac{1}{2} Ln_{kiri} + \frac{1}{2} Ln_{kanan} \dots\dots\dots(16)$$

2. Untuk balok yang mempunyai plat hanya pada satu sisi, lebar efektif sayap tidak boleh lebih dari :

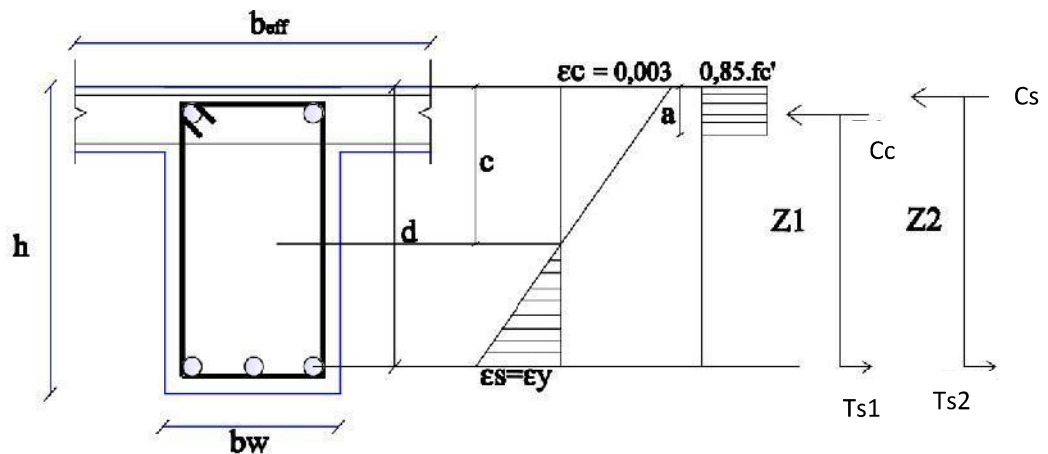
$$- be \leq bw + \frac{1}{2} L \dots\dots\dots(17)$$

$$- be \leq bw + 6 hf \dots\dots\dots(18)$$

$$- be \leq bw + \frac{1}{2} Ln \dots\dots\dots(19)$$

Dalam merencanakan balok T, pada langkah awal disarankan untuk menentukan apakah balok tersebut berperilaku sebagai balok T persegi atau balok T murni. Apabila $M_R > M_u$ ($a \leq hf$), balok akan berperilaku sebagai balok T persegi dengan lebar b , dan apabila $M_R < M_u$ ($a > hf$), balok berperilaku sebagai balok murni.

a) balok T persegi ($a \leq hf$)



Gambar 2 1 Diagram regangan yang bekerja pada balok persegi

Dengan demikian analisis momen kapasitas sesuai dengan gambar di atas dapat dijelaskan sebagai berikut:

Rasio penulangan adalah berkisar antara harga di bawah ini:

$$\frac{1,4}{f_y} < \rho < 0,75\rho_b \dots\dots\dots(20)$$

Gaya tarik T pada keadaan batas dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$T_{s1} = A_{s1} \cdot f_y \dots\dots\dots(21)$$

$$T_{s2} = A_{s2} \cdot f_y \dots\dots\dots(22)$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \dots\dots\dots(23)$$

Gaya D harus seimbang dengan gaya T sehingga:

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \dots\dots\dots(24)$$

$$C_s = A_s' \cdot f_y \dots\dots\dots(25)$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_y = A_s \cdot f_y \dots\dots\dots(26)$$

$$\alpha = \frac{A_s - A_s' \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{A_s' \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \dots\dots\dots(26)$$

$$\alpha = \frac{\rho \cdot b \cdot d \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{\rho \cdot d \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c} \rightarrow \omega = \frac{\rho \cdot f_y}{f'_c} \rightarrow \rho = \frac{\omega \cdot f'_c}{f_y} \dots\dots\dots(27)$$

$$\alpha = \omega \frac{d}{0,85} \dots\dots\dots(28)$$

$$k = f'_c \cdot \omega (1 - 0,59\omega) \dots\dots\dots(29)$$

Menghitung $k_{perlu} = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2}$, dan k adalah koefisien tahanan, setelah nilai k diketahui maka dapat dicari nilai ω yang kemudian dapat ditentukan nilai ρ , nilai ρ dapat juga dicari dengan melihat tabel apendiks A (Struktur Beton Bertulang, Istimawan D.)

Luas tulangan

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(30)$$

Control ρ

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(31)$$

$$\rho_{\text{aktual}} = \frac{A_s}{b_w \cdot d} \dots\dots\dots (31)$$

ρ_{aktual} harus lebih besar dari ρ_{min}

Momen kapasitas dalam nominal dapat ditentukan :

$$M_{n1} = A_{s1} \cdot f_y \cdot (d - 0,5\alpha) \dots\dots\dots (32)$$

$$M_{n2} = A_{s2} \cdot f_y \cdot (d - d') \dots\dots\dots (33)$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} \dots\dots\dots (33)$$

Dengan demikian momen kapasitas M_R adalah:

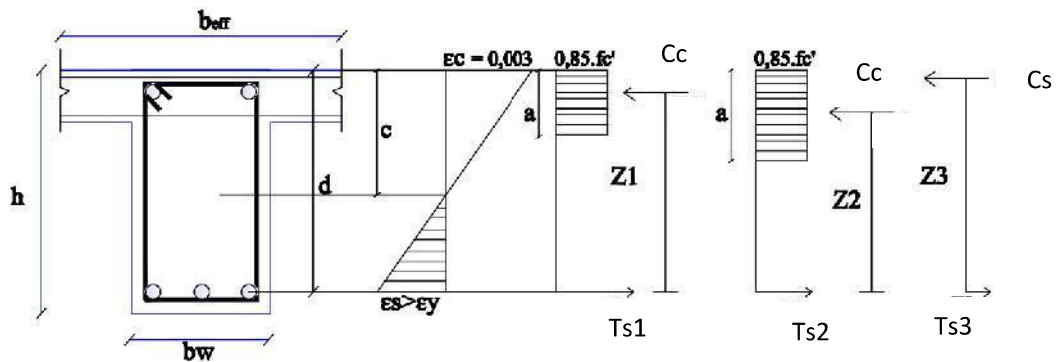
$$M_R = \phi M_n \dots\dots\dots (34)$$

Periksa persyaratan daktilitas

$$A_{s \text{ maks}} = 0,0319 \cdot f \left\{ b + b_w \left(\frac{0,150 \cdot d}{h_f} - 1 \right) \right\} \dots\dots\dots (35)$$

$A_{s(\text{maks})}$ harus lebih besar dari $A_{s \text{ perlu}}$

b) Balok T Murni ($a > h_f$)



Gambar 2 2 Diagram yang bekerja pada balok T murni

Analisa momen kapasitas total dapat dijelaskan berdasarkan gambar diatas adalah sebagai berikut:

$$\text{Sayap : } C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot h_f (b_e - b_w) \dots\dots\dots (36)$$

$$T_{s1} = A_{s1} \cdot f_y \dots\dots\dots (37)$$

Dengan $C_c = T_{s1}$

$$\text{Maka : } A_{s1} \cdot f_y = 0,85 \cdot f'c \cdot hf (b_e - b_w) \dots\dots\dots(38)$$

$$A_{s1} = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot hf (b_e - b_w)}{f_y} \dots\dots\dots(39)$$

$$A_{s1} = T_1 \cdot Z_1 = A_{s1} \cdot f_y \cdot (d - 0,5 \alpha) \dots\dots\dots(40)$$

Badan :

$$C_c = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b_w \dots\dots\dots(41)$$

$$T_{s2} = A_{s2} \cdot f_y \dots\dots\dots(42)$$

$$M_{n2} = T_{s2} \cdot Z_2 = A_{s2} \cdot f_y \cdot (d - 0,5 \alpha) \dots\dots\dots(42)$$

$$\text{Tulangan: } C_s = A_{s'} \cdot f_y \dots\dots\dots(43)$$

$$T_s = A_{s3} \cdot f_y \dots\dots\dots(44)$$

$$M_{n3} = T_{s3} \cdot Z_3 = A_{s3} \cdot f_y (d - d) \dots\dots\dots(45)$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} + M_{n3} \dots\dots\dots(46)$$

$$\text{Maka } M_R = \phi M_n \dots\dots\dots(47)$$

Dengan menganggap seluruh flens tertekan maka, letak batas tepi bawah balok tekan di daerah badan di bawah flens

$$\Sigma T - \Sigma C = (0,85 f'c) b_w (a - hf) \dots\dots\dots(48)$$

$$\alpha = \frac{N_{T-ND}}{0,85 \cdot f'c \cdot b_w} + hf \dots\dots\dots(49)$$

Dimana :

ΣT = gaya tarik total dimana tulangan baja tarik dianggap telah meluluh = $A_s \cdot f_y$

ΣC = gaya tekan yang ada dimana seluruh flens dianggap sebagai daerah tekan. = $0,85 \cdot f'c \cdot hf + A_{s'} \cdot f_y$

b_w = lebar badan

hf = tebal badan

periksa ρ_{min}

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(51)$$

$$\rho_{aktual} = \frac{A_s}{b_w.d} \dots\dots\dots(52)$$

ρ_{aktual} harus lebih besar dari ρ_{min}

Letak titik pusat daerah tekan total

$$Y = \frac{\Sigma(Ay)}{\Sigma A} \dots\dots\dots(53)$$

Dimana :

Y = Letak titik pusat daerah tekan (mm)

A = Luas daerah tekan (mm²)

Perkiraan jarak dengan lengan kopel dalam

$$z = d - \frac{1}{2} hf = d - y \dots\dots\dots(54)$$

dimana :

d = Kedalaman efektif (mm)

hf = tebal plat (mm)

Periksa persyaratan daktilitas

$$A_{s maks} = 0,0319 \cdot \{b + bw(\frac{0,150.d}{hf} - 1)\} \dots\dots\dots(55)$$

$A_{s(maks)}$ harus lebih besar dari $A_{s perlu}$

$$A_{sperlu} = \frac{M_u}{\phi.f_y.z} \dots\dots\dots(56)$$

Dimana :

Mu = Momen Ultimit

ϕ = Faktor reduksi kekuatan

z = Perkiraan jarak dengan lengan kopel dalam

(Istimawan Dipohusodo, Struktur Beton Bertulang, hal 75)

2.8 Perencanaan Tulangan Geser

Komponen struktur yang mengalami lentur akan mengalami juga kehancuran geser, selain kehancuran tarik/tekan. Sehingga dalam perencanaan struktur yang mengalami lentur selain direncanakan tulangan lentur, juga harus direncanakan tulangan geser.

Kuat geser pada struktur yang mengalami lentur SNI 03-2847- 2002 pasal 13.1.1 adalah :

$$\phi V_n \geq V_u \dots\dots\dots(57)$$

Kekuatan geser nominal ditentukan memperhitungkan baik kontribusi beton maupun kontribusi tulangan sengkang, sehingga:

$$V_n = V_c + V_s \dots\dots\dots(58)$$

Keterangan :

ϕ = factor reduksi geser (0,60)

V_u = gaya geser terfaktor

V_n = kekuatan geser terfaktor

V_c = gaya geser yang dipikul oleh beton

V_s = gaya geser yang dipikul oleh sengkang.

Gaya geser terfaktor (V_u) ditinjau pada penampang sejarak (d) dari muka tumpuan dan untuk penampang yang jaraknya kurang dari d dapat direncanakan sama dengan pada penampang yang sejarak d .

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton sesuai SNI 2002 pasal 13.3.1 adalah:

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \overline{f_c'} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots(59)$$

Dimana :

b_w = lebar badan balok

d = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan tarik longitudinal.

Ada dua keadaan:

Bila $V_u > \frac{1}{2} \phi V_c$, maka harus dipasang tulangan geser minimum dengan luas tulangan:

$$A_v = \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} \dots\dots\dots(60)$$

Dan bila $V_u > \phi V_c$, maka harus dipasang tulangan geser, sedangkan besar gaya geser yang disumbangkan oleh tulangan adalah:

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \dots\dots\dots(61)$$

Dimana :

A_v = luas tulangan geser dalam daerah sejarak s

$$A_v = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \dots\dots\dots(62)$$

s = Spasi tulangan geser dalam arah parallel dengan tulangan longitudinal.

Sedangkan untuk spasi sengkang adalah :

$$s \leq \frac{1}{2}.d \dots\dots\dots (63)$$

$$s \leq 600 \text{ mm} \dots\dots\dots (64)$$

Sedangkan bila $V_s > (\frac{\sqrt{f_c'}}{3})bw.d$, maka spasi tulangan adalah

$$s \leq \frac{1}{4} d \text{ dan } s \leq 300 \text{ mm} \dots\dots\dots (65)$$

Dalam hal ini V_s tidak boleh lebih besar dari $\frac{2}{3} \sqrt{f_c'}.bw.d$

$$V_s \leq \frac{2}{3} \sqrt{f_c'}.bw. \dots\dots\dots (66)$$

2.9 Kolom

2.9.1 Analisa Perencanaan Penulangan Kolom

Berikut adalah langkah merencanakan tulangan pada kolom:

1. Menentukan kolom tersebut termasuk kolom pendek atau kolom lancing:

- Hitung angka kelangsingan kolom

$$I_g = \frac{1}{2} x b x h^3 \dots\dots\dots (67)$$

I_g = momen inersia penampang mutu beton terhadap garis sumbunya.

b = lebar daerah tekan komponen struktur

h = tinggi komponen striktur

$$EI_k = \frac{(\frac{Ec x I_g}{2,5})}{1+\beta d} \dots\dots\dots (68)$$

EI_k = Kekakuan kolom

E_c = modulus elastisitas beton

$$EI_b = \frac{(\frac{Ec x I_g}{5})}{1+\beta d} \dots\dots\dots (69)$$

EI_b = Kekuatan balok

- Persyaratan bila kolom tersebut termasuk kolom pendek atau kolom lonsing

$$\frac{klu}{r} < 34 - 12 \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \dots\dots\dots(70)$$

Dimana :

k = Faktor panjang efektif komponen struktur tekan, berdasarkan diagram faktor panjang efektif.

lu = Panjang komponen struktur tekan yang tidak ditopang

r = Jari-jari putaran = $\sqrt{\frac{I}{A}}$

I = Momen inersia penampang

A = Luas penampang

M_{1b}, M_{2b} = Momen batas pada ujung kolom yang tidak menimbulkan goyangan

- Jika kolom tersebut termasuk kolom pendek maka tidak perlu dilakukan perhitungan perbesaran momen, nilai P_u dan M_u didapat dari perhitungan statika.
- Bila kolom termasuk lonsing maka harus dilakukan perhitungan perbesaran momen dengan cara sebagai berikut :

$$M_u = M_c = \delta_b M_{2b} + \delta_s M_{2s} \dots\dots\dots(71)$$

Dimana :

M_c = Momen rencana yang diperbesar

M_{2b} = momen ujung terbesar dalam kasus dengan kasus dengan pengaku

M_{2s} = momen ujung terbesar dalam kasus pergoyangan samping

δ_b = factor perbesaran momen untuk portal yang tidak diperlakukan terhadap goyangan untuk mencerminkan pangaruh dari kelengkungan diantara kedua ujung tekan.

δ_s = factor pembesar momen untuk portal yang tidak diperkaku terhadap goyangan untuk mencerminkan perpindahan lateral yang diakibatkan oleh beban-beban lateral dan gravitasi.

- $e_t = \frac{Mu}{Pu}$ (72)

e_t = eksentrisitas terjadi

- $A_g = b h$ (73)

A_g = luas bruto penampang

2. Hitung besaran tak berdimensi pada sumbu vertical dan horizontal:

- Pada sumbu vertical dinyatakan dengan rumus:

$$K_1 = \frac{Pu}{\theta A_g r 0,85 f_c r} \dots\dots\dots(74)$$

- Pada sumbu horizontal dinyatakan dengan rumus :

$$K_2 = \frac{Pu}{\theta A_g r 0,85 f_c r} \frac{e_t}{h} \dots\dots\dots(75)$$

- Dari nilai K_1 dan K_2 menurut grafik 2 dan 3 akan didapatkan r dan β

- $\rho = r \cdot \beta$(76)

- $A_{st} = \rho A_g$(78)

A_{st} = luas tulangan total

- Dipilih diameter dan jumlah tulangan yang digunakan

3. Pemeriksaan hasil perancangan

- $A_{1st} = n \frac{1}{4} n \phi^2 \dots\dots\dots (79)$

- $\rho = \frac{A_{st}}{A_{gr}} \dots\dots\dots (80)$

- $r = \frac{\rho}{\beta} \dots\dots\dots (81)$

- Dengan harga k_1 dan r maka dari grafik 2 dan 3 akan diperoleh nilai K_2

$$K_2 = \frac{P_u}{\theta_{gr} 0,85 f_c' h} \frac{e t}{h} = \frac{M_r}{\theta_{Agr} 0,85 f_c' h} \dots\dots\dots (82)$$

$$M_r = K_2 \theta_{Agr} 0,85 f_c' h > M_u \dots\dots\dots (83)$$

2.9.2 Kolom Langsing

Tingkat kelangsingan suatu struktur kolom diungkapkan sebagai rasio kelangsingan:

$$\frac{K l_u}{r} < 34-12 \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \quad \text{dengan penopang} \dots\dots\dots (84)$$

$$\frac{K l_u}{r} < 22 \quad \text{tanpa penopang} \dots\dots\dots (85)$$

Dengan :

K = factor panjang efektif komponen struktur tekan, berdasarkan diagram factor panjang efektif

l_u = panjang komponen struktur tekan yang tidak ditopang

$$r = \text{jari-jari putaran} = \sqrt{\frac{I}{A}} \dots\dots\dots (86)$$

M_{1b}, M_{2b} = Momen batas pada ujung kolom yang tidak menimbulkan goyangan

$$M_{1b} < M_{2b} \dots\dots\dots (87)$$

2.9.3 Merencanakan Tulangan Geser

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton

$$V_c = 2 \cdot 1 + \frac{N_u}{14 A_g} \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (88)$$

Dimana :

N_u = beban aksial terfaktor yang normal terhadap penampang

A_g = luas bruto penampang

Besaran N_u/A_g dinyatakan dalam MPa

Jika $V_u > \phi V_c$, maka diperlukan tulangan geser

Jika $V_u \leq \phi V_c$, maka dipasang tulangan geser praktis

Jarak sengkang pada tulangan geser praktis diambil nilai terkecil dari :

- a. 16 x diameter tulangan pokok memanjang
- b. 48 x diameter tulangan sengkang
- c. Dimensi terkecil dari kolom

2.9.4 pengaruh kelangsingan

Apabila $\frac{Klu}{r}$ adalah angka kelangsingan, maka batas bawah angka kelangsingan yang apabila lebih kecil dari batas ini analisa stabilitas boleh diabaikan.

Untuk kolom yang merupakan komponen rangka yang dikenal sebagai portal balok-kolom, tahanan ujungnya terletak diantara kondisi sendi dan jepit. Harga k dapat ditentukan dengan persamaan-persamaan berikut:

1. Batang tekan berpengaku, dapat diambil dari harga terkecil dari

$$k = 0,7 + 0,05 (\psi A + \psi B) \leq 1,0 \dots\dots\dots(89)$$

$$k = 0,85 + 0,05 \psi_{min} \leq 1,0 \dots\dots\dots(90)$$

Dimana ψA dan ψB adalah ψ pada kedua ujung kolom dan ψ_{min} adalah yang terkecil dari kedua harga tersebut. ψ adalah perbandingan angka kekakuan semua batang tekan dengan semua batang lentur dalam bidang.

$$\psi = \frac{\sum \frac{EI}{lu} \text{ kolom}}{\sum \frac{EI}{lu} \text{ balok}} \dots\dots\dots(91)$$

2. Batang tekan tanpa pengaku yang tertahan pada kedua ujungnya

$$\psi_m < 2 \dots\dots\dots(92)$$

$$k = \frac{20 - \psi_m}{20} \sqrt{1 + \psi_m} \dots\dots\dots(93)$$

$$k = 0,9\sqrt{1 + \psi_m} \dots\dots\dots(94)$$

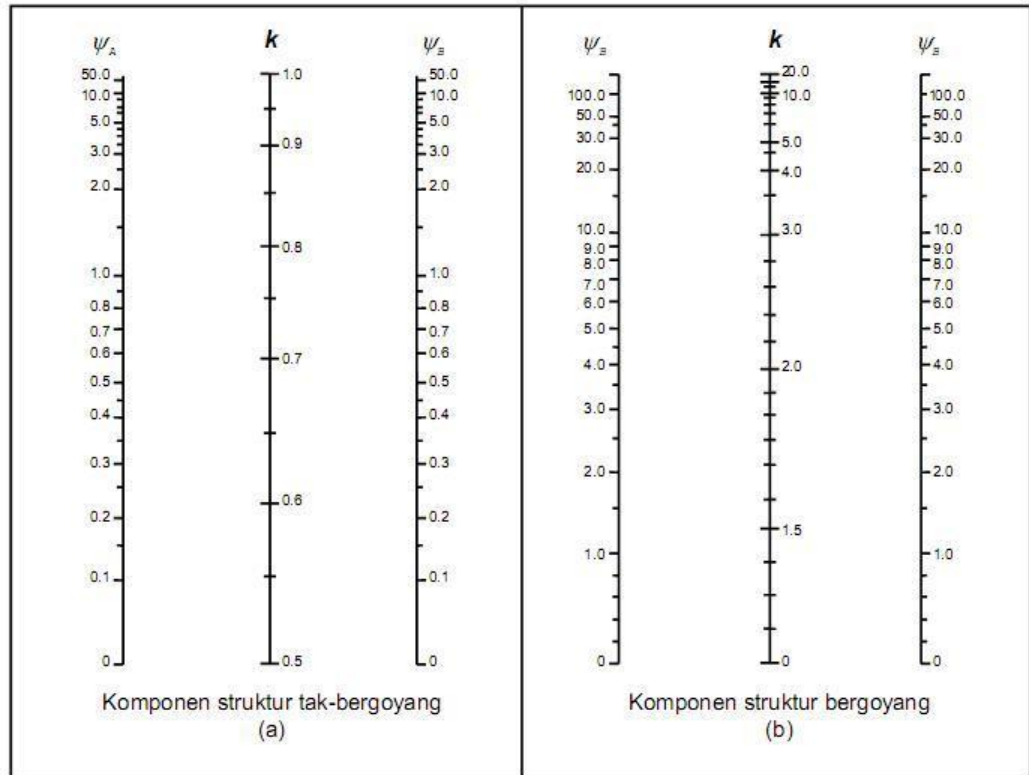
ψ_m adalah harga ψ rata-rata untuk kedua ujung batang tertekan

3. Batang tekan tanpa pengaku yang keduanya sendi

$$k = 2,0 + 0,3 \psi \dots\dots\dots(95)$$

dimana harga ψ harga pada ujung yang tertahan

(Edward G. Nawy, Beton Bertulang, hal 365-366)



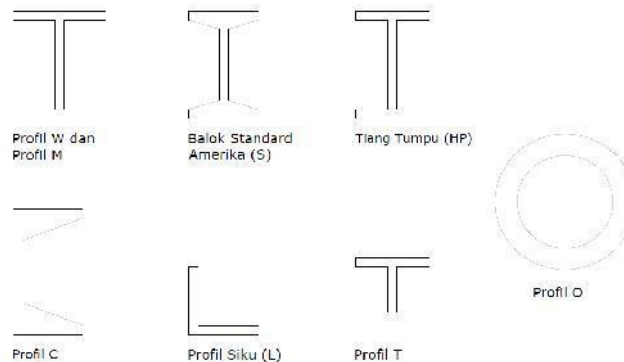
Gambar 2.3 Nomogram Faktor Panjang Efektif Kolom

2.10 Material baja

Baja merupakan salah satu bahan konstruksi yang penting. Salah satu keunggulan baja adalah mempunyai daktilitas tinggi. *Ductility* adalah kemampuan untuk berdeformasi secara baik dalam tegangan maupun regangan sebelum terjadi kegagalan (Charles G. Salmon, 1991). Baja merupakan bahan yang mempunyai sifat kuat tarik. Oleh karena itu baja adalah elemen struktur yang memiliki batasan sempurna yang mampu menahan beban tarik aksial, tekan aksial, dan kombinasi lentur. Dalam perencanaan konstruksi baja tidak boleh menyimpang sifat-sifat utama dari baja.

2.11 Profil Baja

Terdapat beberapa jenis bentuk profil baja struktural yang tersedia di pasaran. Semua bentuk profil tersebut mempunyai kelebihan dan kelemahan tersendiri. Beberapa jenis profil baja menurut *American Institute of Steel Construction* (AISC) diantaranya adalah profil I, WF, tiang tumpu (HP), O, C, profil siku (L), dan profil T struktural. Penjelasan dari masing-masing profil adalah sebagai berikut :



Gambar 2 4 Profil Baja.

(Sumber : *AISC-LRFD,1994*)

1. Profil I dan WF digunakan sebagai elemen struktur balok dan kolom. Semakin tinggi profil ini, maka semakin ekonomis untuk struktur.
2. Profil S adalah balok standard Amerika. Profil ini memiliki bidang *flens* yang miring, dan *web* yang relative lebih tebal. Profil ini jarang digunakan dalam konstruksi, tetapi masih digunakan terutama untuk beban terpusat yang sangat besar pada bagian *flens*.
3. Profil HP adalah profil jenis penumpu (*bearing type shape*) yang mempunyai karakteristik penampang agak bujursangkar dengan *flens* dan *web* yang hampir sama tebalnya. Biasanya digunakan sebagai fondasi tiang pancang.

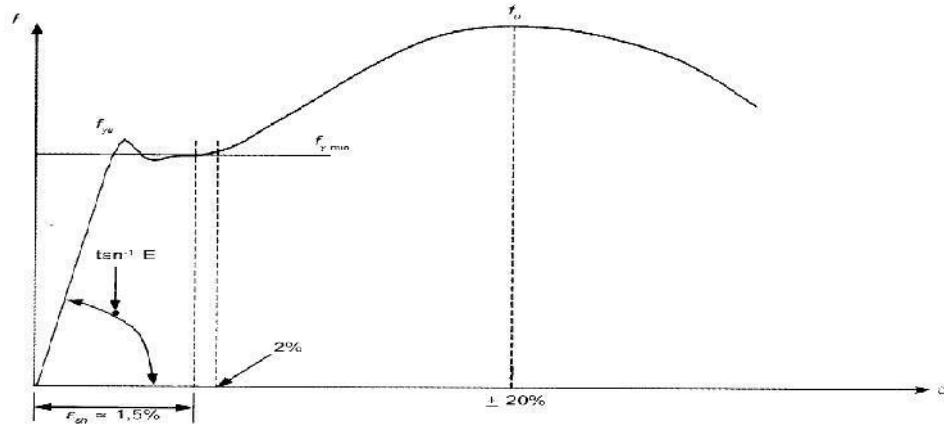
Bisa juga digunakan sebagai balok dan kolom, tetapi umumnya kurang efisien.

4. Profil C atau kanal mempunyai karakteristik *flens* pendek, yang mempunyai kemiringan permukaan dalam sekitar 1 : 6. Aplikasinya biasanya digunakan sebagai penampang tersusun, *bracing tie*, ataupun elemen dari bukan rangka (*frame opening*).
5. Profil siku atau profil L adalah profil yang sangat cocok untuk digunakan sebagai *bracing* dan batang tarik. Profil ini biasa digunakan secara gabungan, yang lebih dikenal sebagai profil siku ganda. Profil ini sangat baik untuk digunakan pada struktur *truss*. (Sumber : *Manual (AISC-LRFD)*, 1 Desember 1994).

2.12 Hubungan Antara Tegangan dan Regangan pada Konstruksi Baja

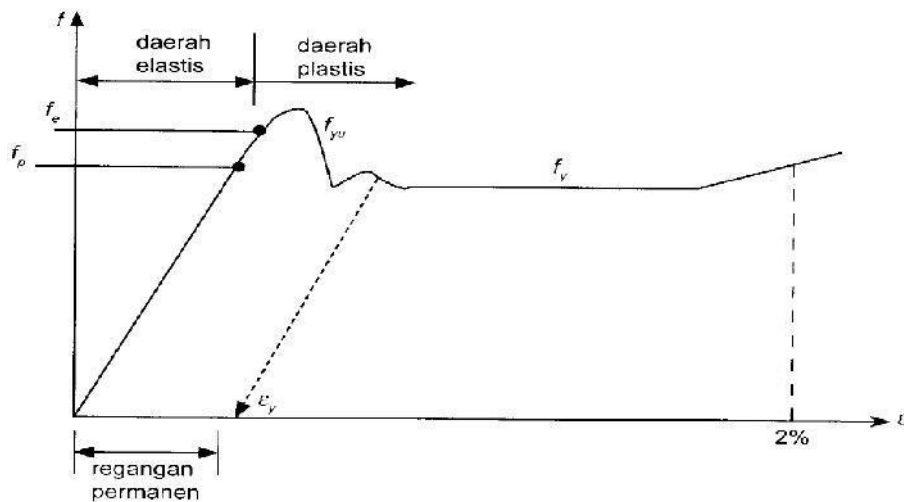
Model pengujian yang paling tepat untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik dari material baja adalah dengan melakukan uji tarik terhadap suatu benda uji baja. Uji tekan tidak dapat memberikan data yang akurat terhadap sifat-sifat mekanik material baja, karena disebabkan beberapa hal antara lain adanya potensi tekuk pada benda uji yang mengakibatkan ketidakstabilan benda uji tersebut, selain itu perhitungan tegangan yang terjadi di dalam benda uji lebih mudah dilakukan untuk tarik daripada uji tekan. Gambar 2.5a. dan Gambar 2.5.b menunjukkan suatu hasil uji tarik material baja yang dilakukan pada suhu kamar serta memberikan laju regangan yang normal. Tegangan nominal (f) yang terjadi dalam benda uji diplot pada sumbu vertikal, sedangkan regangan (ϵ) yang merupakan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang mula-mula ($\Delta L/L$) diplot pada sumbu horizontal. Gambar 2.5.a merupakan hasil uji tarik dari suatu benda uji baja yang

dilakukan hingga benda uji mengalami keruntuhan, sedangkan Gambar 2.5.b menunjukkan gambaran yang lebih detail dari perilaku benda uji hingga mencapai regangan sebesar $\pm 2\%$.



Gambar 2 5 Kurva hubungan tegangan (f) dan regangan (ϵ).

(Sumber : *Setiawan. A, 2002 : Hal 19*)



Gambar 2 6 Kurva hubungan tegangan (f) dan regangan (ϵ) yang diperbesar.

(Sumber : *Setiawan. A, 2002 : Hal 19*)

Titik-titik penting dalam kurva tegangan-regangan antara lain :

f_p = batas proposional

f_e = batas elastis

f_y, f_u = tegangan leleh atas dan bawah

f_u = tegangan putus

ϵ_{sh} = regangan saat mulai terjadi efek *strain-hardening*

(penguatan regangan)

ϵ_{sh} = regangan saat tercapainya tegangan putus.

2.13 Sifat Mekanis Struktural Baja Untuk Perencanaan Bangunan Gedung

Menurut SNI 03–1729–2002 tentang tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung, sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada Tabel 2.2.

1. Tegangan leleh untuk perencanaan (f_y) tidak boleh diambil melebihi nilai yang diberikan Tabel 2.2.
2. Tegangan putus untuk perencanaan (f_u) tidak boleh diambil melebihi nilai yang diberikan Tabel 2.2

table 2 2 Sifat- sifat mekanis baja struktural

Jenis Baja	Tegangan putus minimum f_u (MPa)	Tegangan leleh minimum f_y (MPa)	Regangan minimum %
BJ 35	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

(Sumber : *SNI 03-1729-2002, Hal 11*)

Sifat-sifat mekanis lainnya baja struktural untuk maksud perencanaan ditetapkan sebagai berikut (Sumber : *SNI 03-1729-2002, Hal 11*) :

Modulus elastisitas : $E = 200.000 \text{ MPa}$

Modulus geser : $G = 80.000 \text{ MPa}$

Nisbah poisson : $\mu = 0,3$

Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$.

2.14 Load and Resistance Factor Design (LRFD)

2.14.1 Filosofi Design

Dewasa ini dikenal dua filosofi desain yaitu desain tegangan kerja (yang diacu pada AISC sebagai *Allowable Stress Design* atau ASD) dan desain kekuatan batas (yang diacu pada AISC sebagai LRFD). Metode ASD dalam perencanaan struktur baja telah digunakan dalam kurun waktu kurang lebih 100 tahun. Dan dalam 20 tahun terakhir prinsip perencanaan struktur baja mulai beralih ke konsep LRFD yang jauh lebih rasional dengan berdasarkan pada konsep probabilitas. Untuk

lebih memahami latar belakang pengembangan metode LRFD dengan ilmu probabilitas, maka berikut akan sedikit dibahas mengenai prinsip-prinsip dasar dalam ilmu probabilitas. Dalam metode LRFD tidak diperlukan analisa probabilitas secara penuh, terkecuali untuk situasi-situasi tidak umum yang tidak teratur dalam peraturan. Terdapat beberapa dalam desain probabilitas antara lain. Metode probabilitas penuh (*fully probabilistic method*) merupakan tingkat III, dan merupakan cara analisa yang paling kompleks. Metode probabilitas penuh memerlukan data-data tentang distribusi probabilitas dari tiap-tiap variabel acak (seperti tahanan, beban, dan lain-lain) serta korelasi antara variabel tersebut. Data-data ini biasanya tidak tersedia dalam jumlah yang cukup sehingga umumnya metode probabilitas ini jarang digunakan dalam praktek.

Metode LRFD lebih mementingkan perilaku bahan atau penampang pada saat terjadinya keruntuhan. Seperti kita ketahui bahwa suatu bahan (khususnya baja) tidak akan segera runtuh ketika tegangan yang terjadi melebihi tegangan leleh (f_y), namun akan terjadi regangan plastis pada bahan tersebut. Apabila tegangan yang terjadi sudah sangat besar maka akan terjadi *strain hardening* yang mengakibatkan terjadinya peningkatan tegangan sampai ke tegangan putus minimum (f_u). Pada saat tegangan putus minimum dilampaui maka akan terjadi keruntuhan bahan. Metode LRFD umumnya menggunakan perhitungan dengan menggunakan tegangan ultimate (f_u) menjadi tegangan izin, namun tidak semua perhitungan metode LRFD menggunakan tegangan ultimate (f_u) ada juga perhitungan yang menggunakan tegangan leleh (f_y), terutama pada saat menghitung deformasi struktur yang mengakibatkan ketidakstabilan struktur tersebut. Metode LRFD menggunakan beban terfaktor sebagai beban maksimum

pada saat terjadi keruntuhan. Beban layan akan dikalikan dengan faktor amplifikasi yang tentunya lebih besar dari 1 dan selanjutnya akan menjadi beban terfaktor. Selain itu kekuatan nominal (kekuatan yang dapat ditahan bahan) akan diberikan faktor resistansi juga sebagai faktor reduksi akibat dari ketidak sempurnanya pelaksanaan dilapangan maupun di pabrik. Besaran faktor resistansi berbeda – beda untuk setiap perhitungan kekuatan yang ditinjau, misalnya : untuk kekuatan tarik digunakan faktor reduksi 0,9 dan untuk kekuatan tekan digunakan faktor reduksi 0,75. Dapat dilihat bahwa untuk penampang yang sama hasil kekuatan nominal yang akan didapat dari metode LRFD akan lebih tinggi dari metode ASD (Sumber : *Setiawan. A, 2008 : Hal 19*).

2.14.2 Teori Kekuatan batas

Komponen struktur beserta sambungannya harus direncanakan untuk keadaan kekuatan batas sebagai berikut : (Sumber : *SNI 03-1729-2002 : hal 14*)

1. Beban-beban dan aksi-aksi harus ditentukan sesuai dengan beban mati, beban hidup, beban angin, beban hujan, beban hidup atap, dan beban gempa.
2. Pengaruh-pengaruh aksi terfaktor (R_u) sebagai akibat dari beban-beban keadaan batas harus ditentukan dengan analisis struktur.
3. Kuat rencana (ϕR_n) harus ditentukan dari kuat nominal (R_n) yang ditentukan berdasarkan komponen struktur, dikalikan dengan faktor reduksi (ϕ).
4. Semua komponen struktur dan sambungan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga kuat rencana (R_n) tidak dikurangi dari pengaruh aksi terfaktor (R_u) yaitu : $R_u \leq \phi R_n$.

2.14.3 Desain LRFD Struktur Baja

Secara umum, suatu struktur dikatakan aman apabila memenuhi persyaratan sebagai berikut : (Sumber Sumber : *Setiawan. A, 2008 : Hal 11*)

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \dots \dots \dots (96)$$

Dimana :

γ_i = faktor beban ($\gamma_i \geq 1$)

ϕ = faktor reduksi ($\phi \leq 1$)

Q_i = beban rencana i

R_n = kekuatan nominal struktur

table 2 3 Faktor reduksi (ϕ) untuk keadaan kekuatan batas

Kuat rencana untuk	Faktor reduksi
Komponen struktur yang memikul lentur:	
• balok	0.9
• balok pelat berdinding penuh	0.9
• pelat badan yang memikul geser	0.9
• pelat badan pada tumpuan	0.9
• pengaku	0.9
Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial:	
• kuat penampang	0.85
• kuat komponen struktur	0.85
Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial:	
• terhadap kuat tarik leleh	0.9
• terhadap kuat tarik fraktur	0.75
Komponen struktur yang memikul aksi-aksi kombinasi:	
• kuat lentur atau geser	0.9
• kuat tarik	0.9
• kuat tekan	0.85

Komponen struktur komposit:	
• kuat tekan	0.85
• kuat tumpu beton	0.6
• kuat lentur dengan distribusi tegangan Plastik	0.85
• kuat lentur dengan distribusi tegangan Elastik	0.9
Sambungan baut:	
• baut yang memikul geser	0.75
• baut yang memikul tarik	0.75
• baut yang memikul kombinasi geser dan Tarik	0.75
• lapis yang memikul tumpu	0.75
Sambungan las:	
• las tumpul penetrasi penuh	0.9
• las sudut dan las tumpul penetrasi Sebagian	0.75
• las pengisi	0.75

(Sumber : SNI 03-1729-2002, Hal 11)

2.14.4 Batas-Batas Lendutan

Batas-batas lendutan untuk keadaan kemampuan-layan batas harus sesuai dengan struktur, fungsi penggunaan, sifat pembebanan, serta elemen-elemen yang didukung oleh struktur tersebut. Batas lendutan maksimum diberikan dalam Tabel

2.4

table 2 4 Batas lendutan maksimum

Komponen struktur dengan beban tidak terfaktor	Beban tetap	Beban sementara
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	L/360	-
Balok biasa	L/240	-
Kolom dengan analisis orde pertama saja	h/500	h/200
Kolom dengan analisis orde kedua	h/300	h/200

(Sumber : SNI 03-1729-2002 :Hal 15).

Keterangan :

L = adalah panjang bentang

h = adalah tinggi tingkat, beban tetap adalah beban mati dan beban hidup, beban sementara meliputi beban gempa atau beban angin.

Untuk beban terbagi rata penuh pada balok diatas 2 tumpuan sederhana yaitu : (Sumber : Setiawan. A, 2008 : Hal 307)

$$\Delta_{\max} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} \dots\dots\dots(97)$$

Dimana :

q = beban merata, (kg/m)

L = panjang bentang, (m)

E = modulus elastisitas, 200000 (MPa)

I = momen Inersia, (mm⁴)

2.15 Analisis Beban Gempa

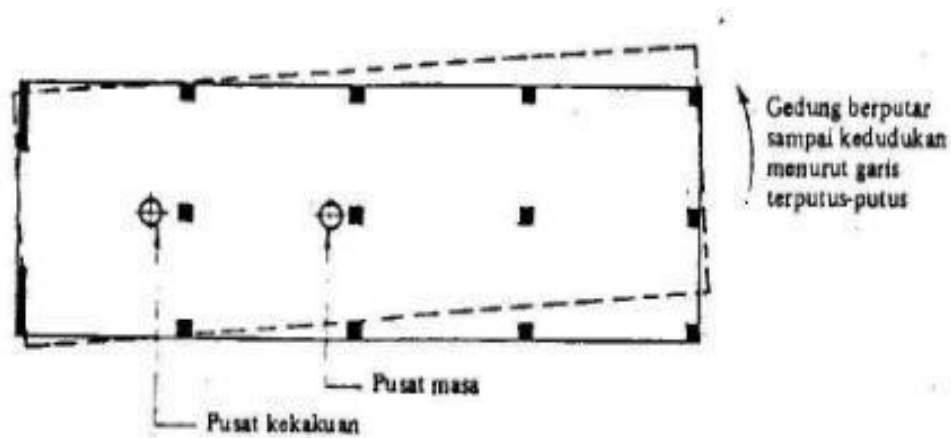
Beban gempa adalah semua beban yang ditimbulkan dari gerakan-gerakan lapisan bumi kearah horizontal dan vertikal, dimana gerakan vertikalnya lebih kecil dari gerakan horizontalnya. Pengaruh gempa bekerja pada kedua arah utama gedung

secara bersamaan, maka unsur-unsur primer direncanakan terhadap pengaruh 100% dari gempa rencana dalam satu arah utama yang dikombinasikan dengan pengaruh 30% dari gempa dalam arah tegak lurus padanya

Sifat guncangan gempa dan sifat respon suatu struktur bangunan gedung akibat gerakan tanah di bawahnya seringkali tidak terduga dan membingungkan. Beberapa retakan yang terdapat pada tanah kadang-kadang menjadi besar akibat guncangan gempa, ada anggapan arah guncangan dapat dibaca dari arah retakan tanah, tetapi anggapan itu salah, arah guncangan gempa adalah sembarang.

2.15.1 Analisa Dinamik

Analisa dinamik terdiri dari dua cara yaitu analisa dinamik dapat diapakai menurut peraturan (PPTGI-UG 87) analisa regam spektrum respons yang merupakan cara yang paling sederhana, dan analisa respons riwayat waktu, kedua cara ini telah telah bisa dipakai dalam perencanaan gedung-gedung di Indonesia



Gambar 2 7 denah struktur grdung yang mengalami rotasi akibat momen putir tingkat horizontal.

(Sumber (PPTGI-UG 87. Hal. 76)

2.15.1.1 Analisa Regam Spektrum Respons

2.15.1.1.1 Spektrum respons gempa rencana

Analisa modal (Modal analysis) pada umumnya dapat dipakai untuk menentukan respons elastik dari struktur-struktur gedung dengan banyak derajat kebebasan MDOF yang didasarkan atas kenyataan bahwa respons suatu struktur merupakan superposisi dari respons masing-masing ragam getaran. Masing-masing ragam tersebut memberikan respons dengan sifat-sifatnya tersendiri, seperti yang ditentukan oleh bentuk simpangan, frekwensi getaran dari redaman yang bersangkutan. Karena itu, respons dari suatu struktur yang dimodelkan sebagai bandul majemuk, dapat dianggap sebagai superposisi dari respons sejumlah bandul sederhana dengan satu derajat kebebasan SDOF. Masing-masing respons bandul sederhana ini mewakili respons ragam-ragam getaran dari struktur dengan masing-masing tingkat partisipasinya dalam memberikan respons terhadap gerakan gempa yang ditinjau. Untuk struktur-struktur gedung, sejumlah besar hasil percobaan berskala penuh dan analisa respons riwayat waktu terhadap gerakan tanah akibat gempa telah menunjukkan, bahwa penggunaan analisa ragam spektrum respons dengan meninjau bandul-bandul getar sederhana dengan derajat sederhana dengan derajat kebebasan tunggal dan redaman yang dianggap sebagai redaman cairan untuk oksilator.

SDOF (berderajat kebebasan tunggal) untuk mewujudkan respons dari masing-masing ragam struktur, merupakan pendekatan yang cukup tepat untuk menentukan respons elastik dari struktur terhadap gerakan tanah akibat gempa tersebut.

Untuk analisa ragam spektrum respons dari struktur gedung yang tidak beraturan atau yang mempunyai tonjolan-tonjolan yang menyolok, jumlah ragam yang ditinjau tidak kurang dari 5, tetapi sebagaipedomannya jumlah tersebut tidak perlu lebih dari jumlah tingkatnya, atau jumlah ragam yang ditinjau itu adalah sedemikian rupa, sehingga sudah mengandung paling sedikit 90% dari energi gempa.

2.15.1.1.2 Kombinasi ragam

Kombinasi dari respons masing-masing ragam untuk mendapatkan respons struktur gedung secara keseluruhan, telah ditetapkan sebagai akar dari jumlah kwadrat SRSS respons masing-masing ragam ini. Cara kombinasi demikian adalah sederhana dan diterima secara luas, akan tetapi tidak selalu menghasilkan jawaban yang konservatif. Apabila dua buah ragam mempunyai waktu getar alami yang hampir sama nilainya, cara kombinasi tersebut mungkin tidak konservatif, dan dengan begitu perencana harus mengkombinasikan respons masing-masing ragam tersebut dengan cara lain. (seperti dengan menjumlahkannya secara aljabar nilai mutlak dari respons masing-masing ragam).

Berbeda dengan analisis ragam spektrum respons yang biasa dipakai dalam perencanaan struktur gedung-gedung tinggi di Indonesia di waktu yang lalu, menurut pedoman (PPTGI-UG 87) gaya geser ditingkat dasar yang didapat dari analisis ragam ini tetap dikaitkan dengan nilainya yang secara numerik didapat dari beban geser dasar menurut cara analisa beban statik ekuivalen menurut pasal 2.4. Dalam hal ini suatu reduksi sebesar 10% dari beban geser dasar tersebut telah ditetapkan dengan dilakukannya analisa ragam spektrum respons, karena dengan cara ini diperoleh pembagian yang lebih tepat dari gaya geser tingkat sepanjang

tinggi gedung. Karena kemungkinan adanya daktilitas yang perlu yang berlebihan dari komponen struktur di sini menjadi terbatas, maka komponene struktur dapat direncanakan lebih ekonomis dengan adanya reduksi beban sebesar 10% itu. Dengan demikian, maka maksud utama dari analisa ragam spektrum respons menurut peraturan (PPTGI-UG 87) adalah untuk mencari pembagian gaya geser tingkat sepanjang tinggi gedung yang lebih tepat.

2.15.1.1.3 Pengaruh momen puntir tingkat

Untuk strukture-struktur gedung yang cukup beraturan seperti yang pembatasan-pembatasannya ditentukan dalam poin ini, pengaruh-pengaruh momen puntir tingkat diperhitungkan dengan mengkoreksi pembagian gaya-gaya geser gempa yang yang didapat dari hasil analisa ragam spektrum respons dengan cara analisa statik menurut pasal 2.4.7 (PPTGI-UG 87) untuk struktur-struktur gedung tidak beraturan, pengaruh momen puntir tingkat harus ditentukan dengan analisa dinamik tiga dimensi. Akan tetapi perlu dicatat, bahwa dalam struktur-struktur gedung yang sangat tidak beraturan analisa dinamik ini pun dapat menghasilkan jawaban respons yang terlalu kecil. Dalam keadaan demikian di mana terdapat momen-momen puntir tingkat yang besar, pemacaran energi dapat hanya terpusat pada sejumlah kecil komponen struktur yang memerlukan daktilitas yang besar sekali, yang tak mungkin dapat dipenuhi.

2.15.1.2 Analisa respons riwayat waktu

Analisa respons riwayat waktu telah biasa dilakukan dalam perencanaan struktur gedung-gedung tinggi di Indonesia di waktu yang lalu, dengan cara yang sedikit berlainan daripada cara ini. Seperti halnya dengan cara analisa ragam spektrum respons juga disini analisa respons riwayat waktu dimaksudkan untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat yang lebih tepat sepanjang tinggi gedung. Nilai gaya geser maksimum di tingkat dasar yang didapat dari hasil analisa respons riwayat waktu, nilai numeriknya tetap harus ambil yang sama beban geser dasar yang dapat menurut cara beban statik ekuivalen menurut pasal 2.4 dengan suatu reduksi sebesar 10 %. Dalam cara yang lalu respons struktur diambil langsung dari hasil analisa yang didasarkan atas riwayat waktu gempa yang dipilih dengan menskalakan percepatan maksimum gempa itu menjadi percepatan tanah maksimum setempat yang dapat diharapkan.

2.15.1.2.1 Hasil pencatatan gempa

Untuk mendapatkan pembagian gaya geser tingkat yang representatif, 4 buah hasil pencatatan gempa perlu ditinjau.

untuk mencakup kemungkinan-kemungkinan respons yang luas, disarankan untuk digunakan hasil pencatatan dari 4 gempa berikut ini:

El Centro	15 mei 1940	N-S
Taft	21 Juli 1952	N-S
Almedo Park	19 mei 1962	E-w
Aomori	16 mei 1968	E-W

Hasil-hasil pencatatan di atas hendaknya digati dengan hasil-hasil pencatatan gempa di Indonesia, apabila hal itu sudah tersedia.

2.15.1.2.2 Kombinasi dari respons

Respons yang didapat terhadap masing-masing gempa masukan harus diskalakan menurut point 2.15.1.4 dan gaya-gaya geser tingkat maksimum sebagai respons terhadap keempat gempa masukan yang didapat dengan cara demikian kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan gaya-gaya geser tingkat rencana.

Apabila pembagian gaya geser tingkat akibat sala satu gempa masukan berbedah dengan sagat meyelok dari pembagian gaya geser tingkat yang lain, maka pembagian tersebut hendaknya dikesampingkan. Dalam hal itu maka pembagian yang keempat dari gaya geser tingkat sebagai penggantinya hendaknya diambil menurut hasil analisa ragam spektrum respons menurut pasal 2.15.4.1

2.15.1.2.3 Faktor skala

Faktor skala sudah di jelaskan dalam penjelasan umum 2.15.4.2

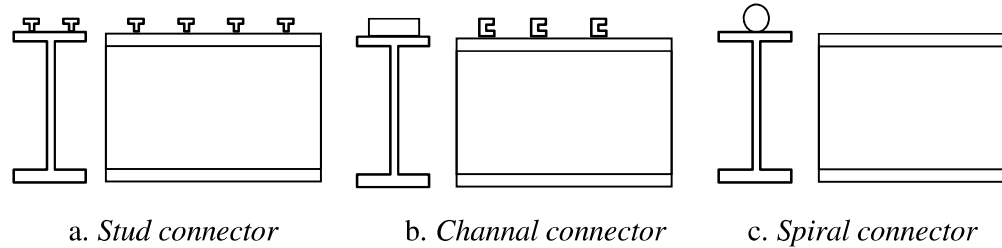
2.15.1.2.4 Pengaruh momen puntir tingkat.

Penjelasan poin 2.15.4.1.3 mengenai pengaruh momen puntir tingkat pada analisis ragam spektrum respons berlaku pula untuk analisis respons riwayat waktu.

2.16.2 Alat Penyambung Geser (*Shear Connector*).

Gaya geser horisontal yang timbul antara slab beton dan balok baja selama pembebanan harus ditahan agar penampang komposit bekerja secara monolit atau dengan kata lain agar terjadi interaksi antara slab beton dan balok baja. Untuk menjamin adanya lekatan antara beton dan balok baja maka harus dipasang alat penyambung geser mekanis (*shear Connector*) diatas balok yang berhubungan

dengan slab beton. Di samping itu fungsi dari pada *shear connector* adalah untuk menahan / menghindari terangkatnya slab beton sewaktu dibebani.



Gambar 2 8 Macam-macam Shear Connector dan bentuknya

(Sumber : Salmon C. G dan Johnson E. John ,1991 : hal 347)

Dalam merencanakan alat sambung geser dapat dilaksanakan berdasarkan :

(Sumber : Salmon C. G dan Johnson E. John ,1991 : hal 365)

$$1. \text{Kuat desak beton :} \quad C_{\max} = 0,85 f'_c \cdot b_{\text{eff}} \cdot A_s \dots\dots\dots(111)$$

$$2. \text{Kuat tarik baja :} \quad T_{\max} = A_s F_y \dots\dots\dots(112)$$

dipilih yang terbesar sehingga menghasilkan jumlah alat sambung geser yang lebih banyak. Banyaknya alat sambung geser yang dibutuhkan dapat dihitung dengan rumus :

$$N = \frac{C_{\max}}{Q_n} \dots\dots\dots(113)$$

dengan Q_n adalah kekuatan satu alat sambung geser dan C_{\max} adalah gaya tekan pada balok baja.

Macam-macam *shear Connector* yang ada dipasaran sampai dengan saat ini sangat banyak macam dan bentuknya, diantaranya adalah :

1. Connector dari Stud baja berkepala (Gambar 2.8.a).

$$Q_n = 0,5 A_{sc} \sqrt{f'_c \cdot E_c} \leq A_{sc} F_u \dots\dots\dots(114)$$

dengan, Q_n = Kekuatan satu stud, (N) F_{bu} = Kuat tarik stud, MPa

A_{sc} = Luas penampang stud, (mm²). f'_c = Kuat tekan beton, (MPa)

E_c = Modulus Elastis Beton, (MPa)

2. Connector berbentuk Cannal (Gambar 2.8.b).

$$Q_n = 0,3 (t_f + 0,5 t_w) L_c \sqrt{f'_c \cdot E_c} \dots\dots\dots(115)$$

dengan, Q_n = kekuatan satu penghubung geser, (N)

F_{bu} = Kuat tarik stud, (MPa)

L_c = Panjang kanal, (mm). f'_c = Kuat tekan beton, (MPa).

t_f = Tebal flens kanal, (mm). E_c = Modulus Elastis Beton,
(MPa)

t_w = Tebal badan kanal, (mm)

2.17 Perencanaan Balok Dan Kolom

2.17.1 Balok

Balok adalah komponen struktur yang mendukung beban transversal, beban lentur atau momen. Balok disebut balok-kolom jika terdapat beban aksial. Pada kondisi tertentu beban aksial ada yang diabaikan sehingga tetap sebagai balok. Pada balok baja, sering sekali terdapat masalah yang dihadapi yaitu pemberian kekuatan lentur dan geser yang cukup pada setiap tempat dalam suatu bentang balok.

2.17.1.1 Lentur Sederhana Profil Simetris

Komponen struktur lentur adalah komponen struktur yang menggabungkan batang tarik dan tekan dengan suatu separasi. Besar separasi tersebut dapat bersifat tetap atau berubah sebagai fungsi dari posisi. Untuk penampang komponen struktur

lentur yang memiliki satu sumbu simetris atau lebih dan terbebas dari semua jenis tekuk serta dibebani pada pusat geser, tegangan lentur dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut. (Setiawan.A,2008 : hal 81)

$$f = \frac{M_x}{S_x} + \frac{M_y}{S_y}, \dots\dots\dots(116)$$

$$\text{dengan } S_x = \frac{I_x}{c_y} + \frac{I_y}{c_x}, \dots\dots\dots(117)$$

$$\text{sehingga } f = \frac{I_x c_y}{I_x} + \frac{M_y c_x}{I_y}, \dots\dots\dots(118)$$

Dimana :

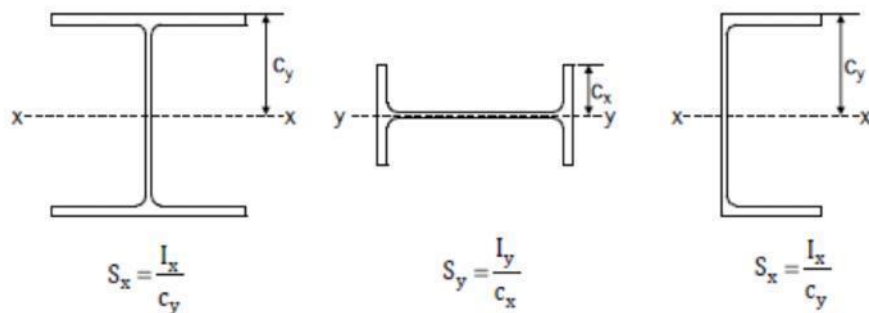
f = tegangan lentur

M_y, M_x = momen lentur arah x dan y

S_x, S_y = modulus penampang arah x dan y

I_x, I_y = momen inersia arah x dan y

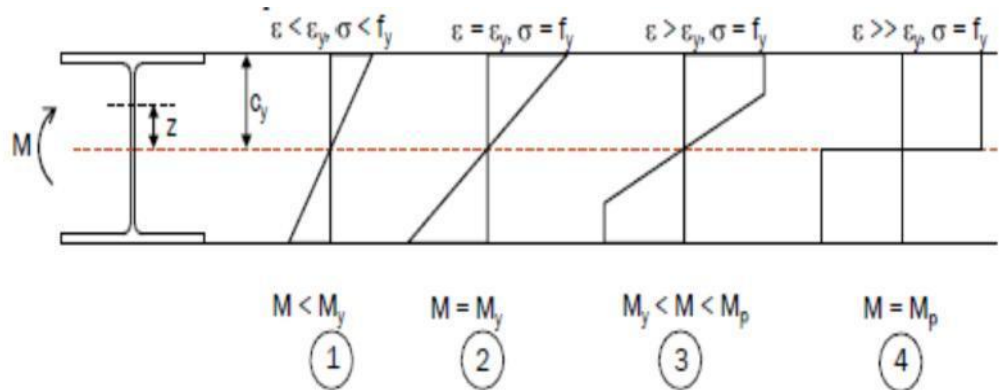
C_x, C_y = jarak dari titik berat ke tepi serat arah x dan y



Gambar 2 9 Modulus Penampang Berbagai Tipe Profil Simetri

(Sumber : Salmon C. G dan Johnson E. John ,1991 : hal 340)

2.17.1.2 Perilaku Balok Yang Terkekang Lateral.



Gambar 2 10 Distribusi tegangan pada level beban berbeda.

(Sumber : Salmon C. G dan Johnson E. John ,1991 : hal 340)

Distribusi tegangan pada sebuah penampang WF akibat momen lentur, diperlihatkan dalam gambar 2.15. Pada daerah beban layan, penampang masih elastik (Gambar 2.15.1), kondisi elastik berlangsung hingga regangan pada serat terluar mencapai kuat leleh (f_y). Setelah mencapai regangan (ϵ_y), regangan akan terus naik tanpa diikuti tegangan (Gambar 2.15.2). Ketika kuat leleh mencapai pada serat terluar (Gambar.2.15.2), tahanan momen nominal sama dengan momen leleh M_{yx} , dan besarnya adalah (Sumber : Salmon C. G dan Johnson E. John ,1986 : hal 341) :

$$M_n = M_{yx} = S_x \cdot f_y \dots\dots\dots (119)$$

Dan pada saat kondisi pada Gambar 2.15.4 tercapai, semua serat dalam penampang melampaui regangan lelehnya, dan dinamakan kondisi plastis. Tahanan momen nominal dalam kondisi ini dinamakan momen plastis (M_p), yang besarnya (Sumber : Salmon C. G dan Johnson E. John ,1991 : hal 340) :

$$M_p = f_y \cdot \int_A y \cdot dA = f_y \cdot Z \dots\dots\dots (120)$$

Dengan $Z = \int_A y \cdot dA$ dapat disebut modulus (momen perlawanan) plastis

Tabel 2.8.a Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan
table 2 5 Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan

(f_y dinyatakan dalam, (MPa), simbol mengacu pada Gambar 2.14).

Jenis Elemen		Perbandingan terhadap tebal (λ)	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
			λ_p (kompak)	λ_r (kompak)
Elemen tanpa Pengaku	Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur	b/t	$170 / \sqrt{f_y} [c]$	$370 / \sqrt{f_y - f_y} [c]$
	Pelat sayap balok-I hibrida atau balok tersusun yang di las dalam lentur	b/t	-	$\frac{420}{\sqrt{f_{xf} - f_r / k_c}}$
	Pelat sayap dari komponen-komponen struktur tersusun dalam tekan	b/t	-	$\frac{290}{\sqrt{f_y / k_c}} [f]$
	Sayap dari profil siku tunggal pada penyokong, sayap dari profil siku ganda dengan pelat kopel pada penyokong, elemen yang tidak diperkaku, yaitu: yang ditumpu pada salah satu sisinya	b/t	-	$250 / \sqrt{f_y}$
	Pelat badan dari profil T	b/t	-	$200 / \sqrt{f_y}$
		b/t	-	$335 / \sqrt{f_y}$

(Sumber : SNI 03 – 1729 – 2002 : hal 29)

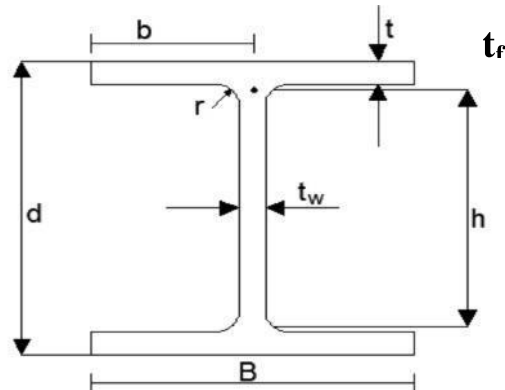
table 2 6 Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan

(f_y dinyatakan dalam (MPa), simbol mengacu pada Gambar 2.14).

Jenis elemen		Perbandin gan lebar thd pelat (λ)	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
			λ_p (kompak)	λ_r (tak kompak)
Elemen dengan Pengaku	Pelat sayap dari penampang persegi panjang dan bujur sangkar berongga dengan ketebalan seragam yang dibebani lentur atau tekan pelat penutup dari pelat sayap dan pelat diafragma yang terletak diantara baut-baut atau las	b/t	$500/\sqrt{f_y}$	$625/\sqrt{f_y}$
	Bagian lebar yang tak terkekang dari pelat penutup berlubang [b]	b/t	-	$820/\sqrt{f_y}$
	Bagian-bagian pelat badan dalam tekan akibat lentur [a]	b/t	$1680/\sqrt{f_y}[c]$	$2550/\sqrt{f_y}[g]$
	Bagian-bagian pelat badan dalam kombinasi tekan dan lentur	b/t	Untuk $N_u/\phi_b N_y \leq 0,125[c]$ $\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{2,75 N_u}{\phi_b N_y} \right]$	$\frac{2.550}{\sqrt{f_y}} \left[1 - \frac{0,74 N_u}{\phi_b N_y} \right]$
			Untuk $N_u/\phi_b N_y > 0,125[c]$ $\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left[2,33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right] \geq \frac{665}{\sqrt{f_y}}$	
	Elemen-elemen lainnya yang diperkaku dalam tekan murni; yaitu dikekang sepanjang kedua sisinyan	b/t h/t _w	-	$665/\sqrt{f_y}$
	Penampang bulat berongga	D/t	[d]	-
Pada tekan aksial Pada lentur	- $14.800/f_y$		$22.000/f_y$ $62000/f_y$	
[a]. Untuk balok hibrida, gunakan tegangan leleh pelat sayap f_y sebagai ganti f_y [b]. Ambil luas neto plat pada lubang terbesar. [c]. Dianggap kapasitas rotasi in elastis sebesar 3 Untuk struktur-struktur pada zona gempa tinggi diperlukan kapsitas rotasi yang lebih besar [d]. Untuk perencanaan plastis gunakan $9.000/f_y$			[e]. f_r = tegangan tekan residual pada pelat sayap = 70 MPa untuk penampang dirol = 155 MPa untuk penampang dilas $k_e = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ tapi $0,35 \leq k_e \leq 0,763$ [f]. f_y = adalah tegangan leleh	

(Sumber : SNI 03 – 1729 – 2002 : hal 29)

2.17.1.3 Kuat Lentur Nominal Penampang Dengan Pengaruh Tekuk Lokal



Gambar 2 11 Profil Baja Wide Flange Shapes

(Sumber : Ir.Gunawan.R. ,1988 : hal 8)

2.17.1.4 Batasan momen (Sumber :SNI 03-1729-2002, hal 37).

- Momen leleh M_y adalah momen lentur yang menyebabkan penampang mulai mengalami tegangan leleh yaitu diambil sama dengan f_y dan S adalah modulus penampang elastis yang ditentukan menurut Butir 8.2.1(d) pada (SNI 03-1729-2002)
- Kuat lentur plastis M_p momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh harus diambil yang lebih kecil dari $f_y.Z$ atau $1,5 M_y$, dan Z adalah modulus penampang plastis yang ditentukan dalam Butir 8.2.1(d) pada (SNI 03-1729-2002)
- Momen batas tekuk M_r diambil sama dengan $S (f_y - f_r)$ dan f_r adalah tegangan sisa (70 MPa untuk penampang gelas panas dan 115 MPa untuk penampang las (Agus Setiawan.hal.85))
- Perhitungan modulus penampang elastis dan plastis harus dilakukan secermat mungkin dengan memperhitungkan adanya lubang-lubang, perbedaan tegangan leleh pada penampang hibrida, letak pelat tarik dan tekan, dan arah /

sumbu lentur yang ditinjau sedemikian sehingga kuat momen yang dihasilkan berada dalam batas-batas ketelitian yang dapat diterima.

$$\begin{array}{ll} \text{untuk bagian sayap} & : \quad \lambda = b/2t_f \\ \text{untuk bagian badan} & : \quad \lambda = h/t_w \end{array}$$

Penampang Kompak ($\lambda \leq \lambda_p$) (Tabel 2.7)

a) Sayap

$$\lambda = \frac{b}{t} \leq \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{fy}} \dots\dots\dots(121)$$

b) Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \leq \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{fy}} \dots\dots\dots(122)$$

$$M_n = M_p \dots\dots\dots(122)$$

Penampang Tak Kompak ($\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$), (Tabel 2.7)

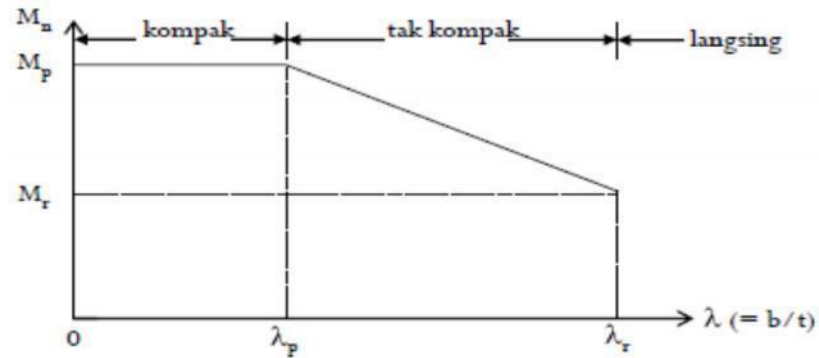
a) Sayap

$$\lambda = \frac{170}{\sqrt{fy}} < \lambda = \frac{b}{t} \leq \lambda_r = \frac{370}{\sqrt{fy - fr}} \dots\dots\dots(123)$$

b) Badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} < \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{fy}} \leq \lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{fy}} \dots\dots\dots(124)$$

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_r}{\lambda_r - \lambda_p} \dots\dots\dots(125)$$



Gambar 2.12 Tahanan Nominal Penampang Kompak Dan Tak Kompak

(Sumber : C.G Salmon.1996, : hal 79).

Penampang Slender / Langsing ($\lambda > \lambda_r$) , (Tabel 2.7)

a) Sayap

$$\lambda = \frac{b}{t} > \lambda_r = \frac{370}{\sqrt{fy - fr}} \dots\dots\dots(126)$$

b) Badan

$$\lambda = \frac{h}{tw} > \lambda_r = \frac{2550}{\sqrt{fy}} \dots\dots\dots(127))$$

$$M_n = M_r (\lambda_r / \lambda)^2 \dots\dots\dots(128)$$

Keterangan :

λ_p = batasan nilai kelangsingan penampang kompak

λ_r = batasan nilai kelangsingan penampang tak kompak

2.17.2 Perencanaan pelat badan

2.17.2.1 Pelat badan yang tidak diperkaku

Ketebalan pelat badan yang tidak diperkaku dan dibatasi di kedua sisi memanjangnya oleh pelat sayap harus memenuhi (SNI 03-1729-2002: hal 43).

$$(h / t) \leq 6,36 \sqrt{\frac{E}{fy}} \dots\dots\dots(129)$$

dengan h adalah tinggi bersih pelat badan di antara kedua pelat sayap; sedangkan jika pada salah satu sisi memanjang dibatasi oleh tepi bebas maka harus memenuhi

$$(h / t) \leq 3,18 \frac{\overline{E}}{f_y} \dots\dots\dots(130)$$

2.17.2.2 Pelat badan dengan pengaku vertikal

Ketebalan pelat badan dengan pengaku vertikal tetapi tanpa pengaku memanjang harus memenuhi (SNI 03-1729-2002 : hal 41) :

$$(h / t) \leq 7,07 \frac{\overline{E}}{f_y} \text{ jika } 1,0 \leq a/h \leq 3,0 \dots\dots\dots(131)$$

$$(a / t) \leq 7,07 \frac{\overline{E}}{f_y} \text{ jika } 0,74 \leq a/h \leq 1,0 \dots\dots\dots(132)$$

$$(h / t) \leq 9,55 \frac{\overline{E}}{f_y} \text{ jika } a/h \leq 0,74 \dots\dots\dots(133)$$

Semua pelat badan yang mempunyai $a/h > 3,0$ harus dianggap tidak diperkaku, dengan h adalah tinggi panel yang terbesar di bentang tersebut.

2.17.2.3 Pelat badan dengan pengaku memanjang dan vertikal

Ketebalan pelat badan yang diberi pengaku-pengaku memanjang yang ditempatkan di salah satu sisi atau di kedua sisi pada jarak $0,2h$ dari pelat sayap tekan harus memenuhi (SNI 03-1729-2002 : hal 43) :

$$(h / t) \leq 8,83 \frac{\overline{E}}{f_y} \text{ jika } 1,0 \leq a/h \leq 3,0 \dots\dots\dots(134)$$

$$(a / t) \leq 8,83 \frac{\overline{E}}{f_y} \text{ jika } 0,74 \leq a/h \leq 1,0 \dots\dots\dots(135)$$

$$(h / t) \leq 12,02 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ jika } a/h \leq 0,74 \dots\dots\dots (134)$$

Ketebalan pelat badan dengan pengaku-pengaku memanjang tambahan yang ditempatkan pada salah satu sisi atau di kedua sisi pelat badan pada sumbu netral harus memenuhi.

$$(h / t) \leq 14,14 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ jika } a/h \leq 1,5 \dots\dots\dots (135)$$

2.17.2.4 Kuat Geser Pelat Badan

Definisi panel pelat badan

Panel pelat badan dengan tebal (t_w) harus dianggap mencakup luas pelat yang tidak diperkaku dengan ukuran dalam arah memanjang, a , dan ukuran dalam arah tinggi balok, h . Batas-batas pelat badan adalah pelat sayap, pengaku memanjang, pengaku vertikal, atau tepi bebas.

a. Kuat Geser

Pelat badan yang memikul gaya geser perlu (V_u) harus memenuhi (SNI 03-1729-2002 : hal 45) :

$$V_u \leq \phi V_n \dots\dots\dots (136)$$

Keterangan:

ϕ = adalah faktor reduksi

V_n = adalah kuat geser nominal pelat badan.

b. Kuat Geser Nominal

Kuat geser nominal (V_n) pelat badan harus diambil seperti yang ditentukan di bawah ini (SNI 03-1729-2002 : hal 45) :

1) Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi;

$$(h / t) \leq 1,10 \frac{\overline{Kn.E}}{fy} \dots\dots\dots(137)$$

dengan,

$$k_n = 5 + \frac{5}{a_h^2} \dots\dots\dots(138)$$

Kuat geser nominal pelat badan harus diambil seperti ditentukan dalam kuat geser.

2) Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi;

$$1,10 \frac{\overline{Kn.E}}{fy} \leq (h / t_w) \leq 1,37 \frac{\overline{Kn.E}}{fy} \dots\dots\dots(139)$$

3) Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi;

$$1,37 \frac{\overline{Kn.E}}{fy} \leq (h / t_w) \dots\dots\dots(140)$$

2.17.3 Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur.

Fungsi kolom adalah sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Bila diumpamakan, kolom itu seperti rangka tubuh manusia yang memastikan sebuah bangunan berdiri. Kolom termasuk struktur utama untuk meneruskan berat bangunan dan beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang-barang), serta beban hembusan angin. Kolom berfungsi sangat penting, agar bangunan tidak

mudah roboh. Beban sebuah bangunan dimulai dari atap. Beban atap akan meneruskan beban yang diterimanya ke kolom. Seluruh beban yang diterima kolom didistribusikan ke permukaan tanah di bawahnya.

Jenis gaya- gaya yang mungkin membebani sebuah kolom :

- a) Gaya normal/ vertical
- b) Gaya lateral/ horizontal
- c) Momen (akibat eksentrisitas gaya)
- d) Puntir.

Kolom seringkali juga diklasifikasikan sebagai kolom panjang, pendek, atau sedang. Penjelasan tentang ketiganya diberikan dalam paragraf berikut.

2.17.3.1 Kolom Panjang

Rumus Euler memprediksi dengan baik kekuatan kolom panjang dimana tegangan tekuk aksial tetap dibawah batas proporsional. Kolom ini akan menekuk secara elastis.

2.17.3.2 Kolom Pendek

Untuk kolom pendek tegangan runtuh akan sama dengan tegangan leleh dan tidak akan terjadi tekuk. Kolom seperti akan terlalu pendek dan tidak praktis untuk dipakai dilapangan dan pembahasan tidak dilakukan lebih dalam lagi.

2.17.3.3 Kolom Sedang

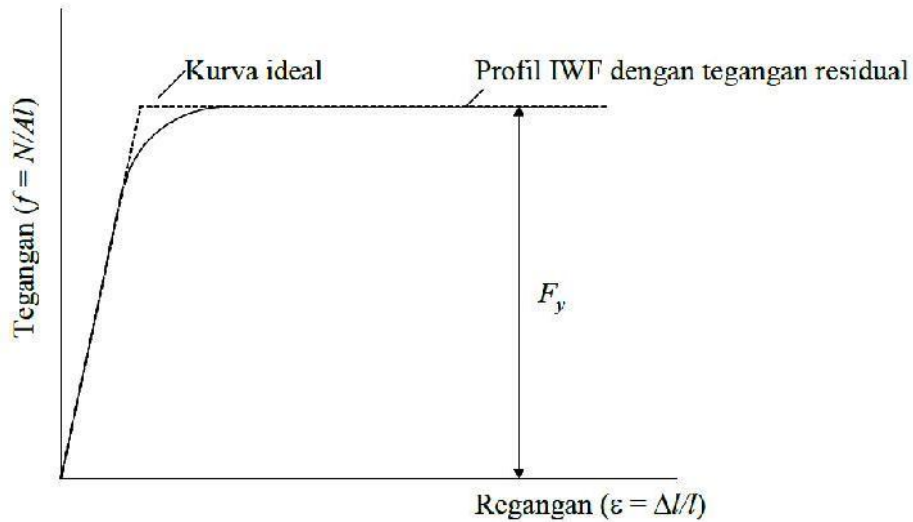
Serat pada kolom sedang akan mencapai tegangan leleh sebagian sedangkan bagian lain masih elastis. Batang akan runtuh oleh kelelahan dan juga tekuk dan perilakunya disebut inelastis. Hampir semua kolom dalam praktek berada dalam kelompok ini. Supaya rumus Euler dapat digunakan dalam kolom ini maka harus

dilakukan modifikasi berdasarkan konsep modulus reduksi atau modulus tangen untuk memperhitungkan tegangan residual.

2.17.3.4 Tegangan Residual

Tegangan residual dan distribusinya merupakan faktor yang sangat berpengaruh pada kekuatan aksial kolom baja. Tegangan ini sangat penting terutama untuk kolom dengan nilai rasio kelangsingan antara 40 – 120, dan memang pada rentang inilah kolom banyak digunakan di lapangan. Penyebab utama dari tegangan residual adalah pendinginan yang tidak merata setelah proses pembentukan baja panas. Misalnya pada profil W, *flens* luar dan *web* bagian tengah akan mengalami pendinginan lebih dulu dibandingkan pertemuan *flens* dan *web*. Bagian yang lebih dahulu dingin akan menahan penyusutan sedangkan bagian yang masih panas masih terus mengalami penyusutan atau perpendekan. Hasilnya adalah pada bagian yang dingin lebih dahulu akan terjadi tegangan tekan residual sedangkan bagian yang belum dingin akan mengalami tegangan tarik residual. Besar tegangan ini bervariasi sekitar 10-15 ksi (69-103 MPa). Jika suatu kolom baja diuji, batas proporsionalnya akan dicapai pada nilai *N/A* yang nilainya sekitar separuh dari tegangah leleh. Setelah batas proporsional, hubungan tegangan-regangan akan non-linier hingga mencapai tegangan lelehnya, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.18. Karena adanya leleh lokal (setempat) yang terjadi pada beberapa titik dari penampang kolom, maka kekuatan terhadap tekuk akan berkurang. Pengurangan kekuatan terbesar terjadi pada kolom dengan rasio kelangsingan antara 70-90 dan besar pengurangan ini sekitar 25%. Jika beban pada suatu kolom meningkat, beberapa bagian kolom akan mencapai tegangan leleh dengan cepat dan memasuki daerah plastis yang diakibatkan oleh tegangan

tekan residual. Kekakuan kolom akan berkurang dan kekakuan yang tersisa hanya berdasarkan bagian penampang yang masih elastis. Suatu kolom dengan tegangan residual akan berperilaku seperti kehilangan sebagian penampangnya. Bagian penampang tersisa atau bagian elastis dari kolom akan berubah dengan perubahan tegangan yang terjadi. Perhitungan tekuk kolom akibat tegangan residual dapat dilakukan dengan menggunakan momen inersia elastis I_e yaitu untuk penampang yang masih elastis atau dengan menggunakan modulus tangen. Untuk penampang kolom yang lazim, kedua cara tersebut memberikan hasil yang hampir sama. Tegangan residual juga dapat disebabkan pada saat pabrikasi dimana lendutan ke atas terbentuk akibat pendinginan setelah las. Las dapat menghasilkan tegangan residual yang cukup tinggi pada kolom sehingga mendekati titik leleh disekitar las. Fakta lain yang penting adalah kolom dapat melentur akibat las sehingga mempengaruhi kemampuan daya dukungnya. Gambar 2.18 memperlihatkan pengaruh tegangan residual akibat pendinginan dan pabrikasi pada diagram tegangan-regangan untuk profil W.



Gambar 2 13 Pengaruh Tegangan Residual Kolom pada Diagram Tegangan-Regangan

(Sumber : *C.G Salmon.1986, : hal 261*).

SNI 03-1729-02 Pasal 7.6.1 menyatakan bahwa gaya tekuk elastis komponen struktur (N_{cr}) untuk keadaan tertentu ujung-ujungnya yang diberikan oleh suatu rangka pendukung ditetapkan sebagai berikut (SNI 03-1729-2002 : hal 27) :

$$N_{cr} = \frac{A_b f_y}{\lambda_{cr}^2} \dots\dots\dots (141)$$

A_b = Luas penampang, (mm²)

f_y = tegangan leleh, (MPa)

dengan parameter kelangsingan kolom λ_{cr} ditetapkan sebagai berikut:

$$\lambda_{cr} = \frac{1}{\pi} \frac{L_k}{r} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \dots\dots\dots (142)$$

dengan $L_k = k_c L$ dan f_y adalah tegangan leleh material. Dalam hal ini k_c adalah faktor panjang tekuk yang ditetapkan sesuai dengan Gambar 2.15 dan L adalah

panjang teoritis kolom. Perlu dicatat bahwa notasi K pada beberapa tempat dipertukarkan dengan k_c , tetapi keduanya mempunyai makna yang sama.

Sedangkan pada SNI 1729-2002 Pasal 7.6.2 menyatakan bahwa untuk penampang yang mempunyai perbandingan lebar terhadap tebalnya lebih kecil daripada nilai λ_r pada Tabel 2.7, daya dukung nominal komponen struktur tekan dihitung sebagai berikut:

$$\phi N_n = A_g f_{cr} = A_g \frac{f_y}{\omega} \dots\dots\dots (143)$$

$$f_{cr} = \frac{f_y}{\omega} \dots\dots\dots (144)$$

$$\text{untuk } \lambda_c \leq 0,25 \text{ maka } \omega = 1 \dots\dots\dots (145)$$

$$\text{untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2 \text{ maka } \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c} \dots\dots\dots (146)$$

$$\text{untuk } \lambda_c \geq 1,2 \text{ maka } \omega = 1,25 \lambda_c^2 \dots\dots\dots (147)$$

Dimana :

A_g = adalah luas penampang bruto, (mm²)

f_{cr} = adalah tegangan kritis penampang, (MPa)

f_y = adalah tegangan leleh material, (MPa)

ω = adalah koefisien tekuk

Untuk penampang yang mempunyai perbandingan lebar terhadap tebalnya lebih besar daripada nilai λ_r pada Tabel 2.7, analisis kekuatan dan kekakuannya dilakukan secara tersendiri dengan mengacu pada metode-metode analisis yang rasional

Manual AISC-LRFD memberikan satu rumus (rumus Euler) untuk kolom panjang dengan tekuk inelastis dan satu rumus parabola empiris untuk kolom pendek dan sedang. Dari rumus ini dapat ditentukan tegangan kritis atau tegangan tekuk f_{cr} untuk batang tekan. Kekuatan nominal batang didapat dengan mengalikan tegangan kritis dan luas penampang. Kuat rencana batang dihitung dari (AISC LRFD, 1994, hal 2-22) :

$$P_u \leq \phi P_n$$

$$P_n = A_g F_{cr} \dots \dots \dots (148)$$

Dimana:

P_u = gaya tekan terfaktor

ϕ_c = factor reduksi kekuatan

P_n = kuat tekan nominal kolom

A_g = luas penampang kotor

F_{cr} = tegangan kritis kolom

Persamaan LRFD F_{cr} adalah untuk tekuk inelastis dan satu persamaan lain untuk tekuk elastis. Dalam kedua persamaan tersebut F_e adalah tegangan Euler sama dengan $\pi^2 E / (KL/r)^2$. Substitusi nilai ini kedalam nilai F_e sehingga didapat λ_c sebagaimana diberikan dalam manual AISC LRFD.

$$\lambda_c = \frac{L_k}{r\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \dots \dots \dots (149)$$

f_y = tegangan leleh, (MPa)

λ_c = adalah parameter kelangsingan batang tekan

L_k = adalah panjang tekuk komponen struktur

E = adalah modulus elastisitas baja, (MPa)

r = jari – jari girasi komponen, (mm)

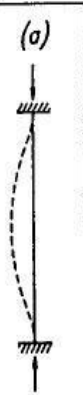


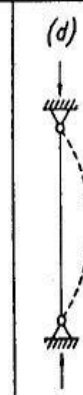
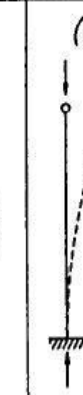





Kedua persamaan untuk telah memasukkan pengaruh tegangan residual dan ketidaklurusan awal dari batang. Rumus inelastis dibawah ini didapat dari hasil uji sehingga merupakan rumus empiris.

Untuk $\lambda_c \leq 1,5$

$$F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} f_y \dots\dots\dots (150)$$

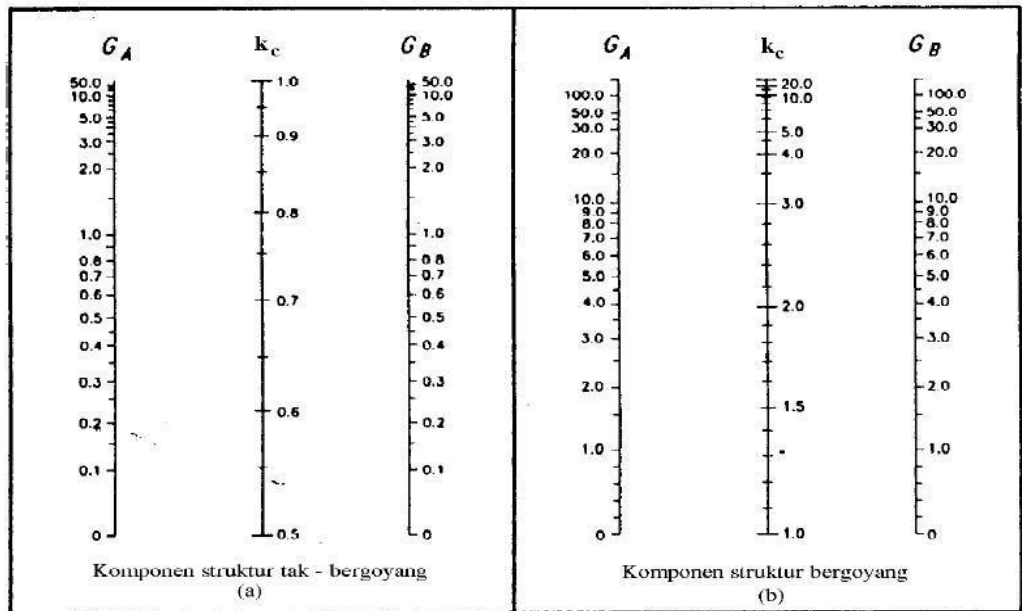
Untuk $\lambda_c > 1,5$

$$F_{cr} = \frac{0.877}{\lambda_c^2} f_y \dots\dots\dots (151)$$

<p>Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk</p>	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
						
	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
<p>Nilai λ_c teoritis</p>	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
<p>Nilai λ_c yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal</p>	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
<p>Kode ujung</p>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">  Jepit  Sendi  Roll tanpa putaran sudut  Ujung bebas </div>					

Gambar 2 14 Panjang efektif kolom

(Sumber : SNI 03 – 1729 – 2002 : hal 32)



Gambar 2.15 Nilai k_c untuk komponen struktur tak bergoyang dan struktur bergoyang.

(Sumber : SNI 03 – 1729 – 2002 : hal 32)

2.17.3.5 Faktor Panjang Tekuk k_c , Tinjauan Struktur Bergoyang

(Sumber : SNI 03-1729-2002, : hal 28)

$$G = \frac{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_c}{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_b} \dots\dots\dots (151)$$

Nilai k_c lihat gambar 2.15 sebelumnya

$$\sum \left(\frac{I}{L} \right)_c \dots\dots\dots (152)$$

Dihitung dengan menjumlahkan kekakuan semua komponen struktur tekan kolom.

$$\sum \left(\frac{I}{L} \right)_b \dots\dots\dots (153)$$

Dihitung dengan menjumlahkan kekakuan semua komponen struktur tekan balok.

Menentukan faktor panjang efektif kolom (L_k)

$$L_{kx} = k_{cx} \cdot L \dots\dots\dots (154)$$

$$L_{ky} = k_{cy} \cdot L \dots\dots\dots (155)$$

Dimana :

I_c = momen inersia pada balok (mm^4)

I_b = momen inersia pada kolom (mm^4)

L_c = panjang kolom (mm)

L_b = panjang balok (mm)

k_c = faktor panjang tekuk, lihat monogram

L = panjang teoritis kolom (mm)

2.17.3.6 Hitung kekuatan kritis kolom

SNI 03-1729-02 Pasal 7.6.1 menyatakan bahwa gaya tekuk elastis komponen struktur (N_{cr}) untuk keadaan tertentu ujung-ujungnya yang diberikan oleh suatu rangka pendukung ditetapkan sebagai berikut :

Manual AISC-LRFD memberikan satu rumus (rumus Euler) untuk kolom panjang dengan tekuk inelastis dan satu rumus parabola empiris untuk kolom pendek dan sedang. Dari rumus ini dapat ditentukan tegangan kritis atau tegangan tekuk ω untuk batang tekan. Kekuatan nominal batang didapat dengan mengalikan tegangan kritis dan luas penampang. Kuat rencana batang dihitung dari:

a. Perencanaan akibat gaya tekan

Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor, N_u , harus memenuhi persyaratan sebagai

berikut (Sumber : SNI 03-1729-2002, : hal 55) :

$$1) N_u \leq \phi N_n \dots\dots\dots (156)$$

Keterangan:

ϕ = adalah faktor reduksi

N_n = adalah kuat tekan nominal komponen struktur.

2) Perbandingan kelangsingan.

a) kelangsingan elemen penampang (lihat Tabel 7.5-1: SNI Pasal 7.6.4) <

$$\lambda_r$$

b) kelangsingan komponen struktur tekan, $= \frac{L_k}{r} < 200$ (157)

3) Komponen struktur tekan yang elemen penampangnyamempunyai perbandingan lebar terhadap tebal lebih besardaripada nilai λ_r yang ditentukan dalam (Tabel 7.5-1: SNI Pasal 7.6.4) harus direncanakan dengan analisis rasional yang dapat diterima.

b. Persamaan Interaksi Aksial-Momen

Dalam segala hal, salah satu dari dua persamaan interaksi aksialmomen berikut ini harus dipenuhi oleh setiap komponen struktur prismatis simetris ganda dan simetris tunggal (Sumber : SNI 03-1729-2002, : hal 75) :

$$\text{Untuk } \frac{N_u}{\phi N_n} \geq 0.2 : \frac{N_u}{\phi N_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0 \text{(158)}$$

$$\text{Untuk } \frac{N_u}{\phi N_u} < 0.2 : \frac{N_u}{2 \phi N_n} + \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \leq 1,0 \text{(159)}$$

Keterangan:

N_u = adalah gaya aksial terfaktor, N

N_n =adalah kuat nominal penampang komponen struktur

ϕ = adalah faktor reduksi kekuatan

$\phi = \phi_c$ adalah untuk komponen struktur tekan = 0,85

ϕ_t = ϕ_t adalah untuk komponen struktur tarik = 0,9

ϕ_b = adalah faktor reduksi kekuatan untuk komponen struktur lentur = 0,90

M_{nx} , M_{ny} adalah momen lentur nominal penampang komponen struktur masing-masing terhadap sumbu-x dan -y .

M_{ux} , M_{uy} adalah momen lentur terfaktor masing-masing terhadap sumbu-x dan -y, sudah termasuk pengaruh orde kedua, (N-mm).

c. Batas kelangsingan

Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tekan, angka perbandingan kelangsingan $\lambda = Lk/r$ dibatasi sebesar 200. Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tarik, angka perbandingan kelangsingan L/r dibatasi sebesar 300 untuk batang sekunder dan 240 untuk batang primer. Ketentuan di atas tidak berlaku untuk batang bulat dalam tarik. Batang-batang yang ditentukan oleh gaya tarik, namun dapat berubah menjadi tekan yang tidak dominan pada kombinasi pembebanan yang lain, tidak perlu memenuhi batas kelangsingan batang tekan.

2.17.4 Sambungan

Pada perencanaan suatu konstruksi baja yang menjadi perhatian utama adalah masalah sambungan, baik itu dalam portal maupun rangka. Konstruksi sambungan ini menggabungkan balok dengan kolom ataupun satu batang dengan batang yang lain, sehingga membentuk sebuah bangunan portal maupun bangunan rangka. Sambungan ini berfungsi menyalurkan gaya yang dipikul oleh bagian struktur ke bagian yang lainnya.

Sambungan tidak boleh mengalami perubahan bentuk yang permanen dan tidak boleh terjadi kelelahan, sehingga detail sambungan perlu mendapat perhatian yang lebih besar, supaya pemindahan tegangan yang terjadi pada bagian konstruksi maupun sambungan tidak melampaui tegangan ijin.

Pada konstruksi, sambungan dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain dengan menggunakan paku keling, pin, baut, baut mutu tinggi dan las. Dimana masing-masing cara tersebut mempunyai keistimewaannya.

2.17.5 Jenis-jenis Sambungan (gambar sesuai dengan penjelasan pada sambungan rangka 2.17.9)

2.17.5.1 Sambungan Portal Kaku (Terkekang Penuh)

Sambungan portal kaku memiliki kontinuitas penuh sehingga sudut pertemuan antara batang- batang tidak berubah, yakni pengekangan (restraint) rotasi sekitar 90% atau lebih dari yang diperlukan untuk mencegah perubahan sudut. Sambungan ini disebut tipe FR (*Fully Restraint* = terkekang penuh).

2.17.5.2 Sambungan Rangka Sederhana

Dimana pengekangan rotasi di ujung-ujung batang dibuat sekecil mungkin. Untuk balok, sambungan kerangka sederhana hanya melibatkan pemindahan gaya geser kedua ujung balok. Suatu kerangka dapat dianggap sederhana jika sudut semula antara batang-batang yang berpotongan dapat berubah sampai 80% dari besarnya perubahan teoritis yang diperoleh dengan menggunakan sambungan sendi tanpa gesekan (*frictionless*). Perencanaan balok bertumpuan sederhana dengan metode tegangan kerja memakai sambungan tipe PR (*Partially Restraint*) atau terkekang sebagian. Penyebutan sebagian untuk jenis sambungan ini adalah fakta untuk menunjukkan fakta bahwa selalu ada sejumlah kekangan pada sambungan ini.

2.17.5.3 Sambungan Rangka Semi Kaku

Rangka setengah kaku terjadi jika kekangan rotasi kira-kira antara 20% - 90% dari yang diperlukan untuk mencegah perubahan sudut relatif. Ini berarti bahwa dengan rangka setengah kaku momen yang dipindahkan melalui sambungan tidaklah nol (atau dalam jumlah yang kecil) sebagaimana pada rangka sederhana, dan tidak pula momen kontinuitas penuh seperti dalam analisis rangka elastis.

2.17.6. Sambungan Baut

Baut yang digunakan pada sambungan struktural, baik baut A325 maupun baut A490 merupakan baut berkepala segi enam yang tebal. Keduanya memiliki mur segi enam tebal yang diberi tanda standar dan simbol pabrik pada salah satu mukanya. Bagian berulir baut dengan kepala segi enam lebih pendek dari pada baut standar yang lain; keadaan ini memperkecil kemungkinan adanya ulir pada tangkai baut yang memerlukan kekuatan maksimumnya.

Sambungan terdiri dari komponen sambungan (pelat pengisi, pelat buhul, pelat pendukung, dan pelat penyambung) dan alat pengencang (baut dan las).

2.17.6.1 Sambungan tipe tumpu

Sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut yang dikencangkan dengan tangan, atau baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menimbulkan gaya tarik minimum yang disyaratkan, yang kuat rencananya disalurkan oleh gaya geser pada baut dan tumpuan pada bagian-bagian yang disambungkan.

2.17.6.2 Sambungan tipe friksi

Sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menimbulkan tarikan baut minimum yang disyaratkan sedemikian rupa sehingga gaya-gaya geser rencana disalurkan melalui jepitan

yang bekerja dalam bidang kontak dan gesekan yang ditimbulkan antara bidang-bidang kontak.

2.17.7 Kekuatan Baut

Suatu baut yang memikul gaya terfaktor, R_u , harus memenuhi (SNI 03-1729-2002, hal 99-101) :

$$R_u \leq \phi R_n \dots\dots\dots (160)$$

Keterangan:

ϕ = adalah faktor reduksi kekuatan (0,75)

R_n = adalah kuat nominal baut.

2.17.7.1 Kuat Geser Baut

Tahanan nominal satu buah baut yang memikul gaya geser memenuhi persamaan :

$$V_d = \phi_f T_n = \phi_{f,m} r_l f_u^b A_b \dots\dots\dots (161)$$

Keterangan:

$r_l = 0,5$ untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

$r_l = 0,4$ untuk baut dengan ulir pada bidang geser

f_u^b = adalah kuat tarik baut (MPa)

A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

ϕ_f = adalah factor reduksi kekuatan untuk fraktur. (0,75)

m = adalah jumlah bidang geser

2.17.7.2 Tahanan Tarik Baut

Baut yang memikul gaya tarik tahanan nominal dihitung menurut :

$$T_d = \phi_f T_n = \phi_f 0,75 f_u^b A_b \dots\dots\dots (162)$$

Keterangan:

f_u^b = adalah kuat tarik baut (MPa)

A_b = luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir.

ϕ_f = adalah factor reduksi kekuatan untuk fraktur.(0,75).

2.17.7.3 Tahanan Tumpu Baut

Kuat tumpu rencana bergantung pada yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Apabila jarak lubang tepi terdekat dengan sisi pelat dalam arah kerja gaya lebih besar daripada 1,5 kali diameter lubang, jarak antar lubang lebih besar daripada 3 kali diameter lubang, dan ada lebih dari satu baut dalam arah kerja gaya, maka kuat rencana tumpu dapat dihitung sebagai berikut (Sumber : SNI 03-1729-2002, hal 99-101) :

$$R_n = 2,4 \cdot \phi_f \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u \dots\dots\dots (163)$$

Kuat tumpu yang didapat dari perhitungan di atas berlaku untuk semua jenis lubang baut. Sedangkan untuk lubang baut selot panjang tegak lurus arah kerja gaya berlaku persamaan berikut ini,

$$R_n = 2,0 \cdot \phi_f \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u \dots\dots\dots (164)$$

Keterangan:

$\phi_f = 0,75$ adalah faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

d_b = adalah diameter baut nominal pada daerah tak berulir

t_p = tebal plat

f_u = adalah tegangan tarik putus yang terendah dari baut atau pelat.

2.17.7.4 Baut pada sambungan tipe tumpu yang memikul kombinasi geser dan tarik.

Baut yang memikul gaya geser terfaktor, V_u , dan gaya tarik terfaktor, T_u ,

secara bersamaan harus memenuhi kedua persyaratan berikut ini:

$$f_{uv} = \frac{v_u}{nAb} \leq r_1 \cdot \phi f \cdot f_u^b \cdot m \dots\dots\dots (165)$$

$$T_d = \phi f \cdot T_n = \phi f \cdot f_t Ab \geq \frac{T_u}{n} \dots\dots\dots (166)$$

$$f_t \leq f_1 - r_2 f_{uv} \leq f_2 \dots\dots\dots (167)$$

Keterangan:

$\Phi f = 0,75$ adalah faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

db = adalah diameter baut nominal pada daerah tak berulir

$t p$ = tebal plat

f_u = adalah tegangan tarik putus yang terendah dari baut atau pelat.

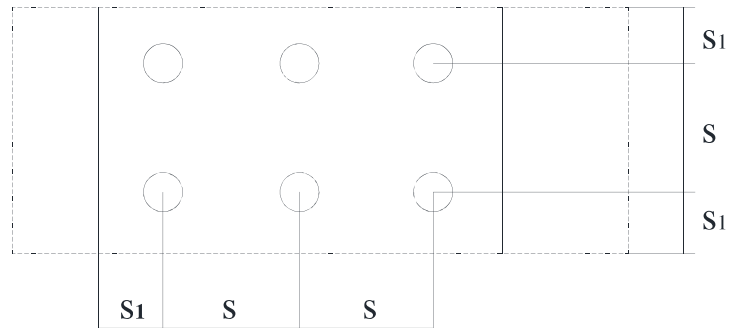
2.17.8 Tata Letak Baut

2.17.8.1 Pelubangan

Suatu lubang bulat untuk baut harus dipotong dengan mesin pemotong dengan api, atau dibor ukuran penuh, atau dipons 3 mm lebih kecil dan kemudian diperbesar, atau dipons ukuran penuh. Lubang selot harus dipotong dengan mesin api atau dipons sekaligus atau dibentuk dengan mengebor dua lubang berdekatan kemudian diselesaikan dengan api. Pemotongan lubang baut dengan api menggunakan tangan tidak diperkenankan kecuali sebagai perbaikan di lapangan untuk lubang - lubang pada pelat landas kolom. Suatu lubang yang dipons hanya diizinkan pada material dengan tegangan leleh (f_y) tidak melebihi 360 MPa dan ketebalannya tidak melebihi $(5.600/f_y)$ mm

2.18.8.2 Ukuran Lubang

Diameter nominal dari suatu lubang yang sudah jadi, harus 2 mm lebih besar dari diameter nominal baut untuk suatu baut yang diameternya tidak melebihi 24 mm, dan maksimum 3 mm lebih besar



Gambar 2 16 Perletakan Baut

(Sumber : *Ir.oentoeng 1999 : hal 30*)

Keterangan :

S = jarak antara baut

S₁ = jarak baut ke tepi

db = diameter baut

Rumus untuk menentukan letak atau jarak baut :

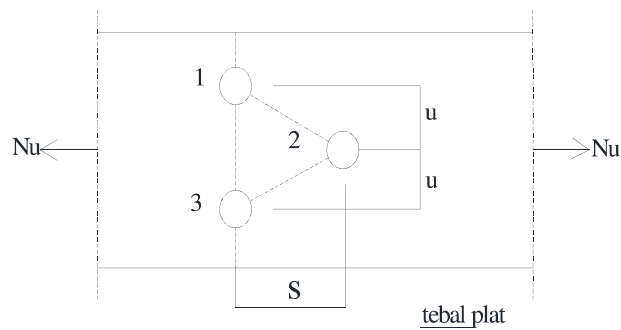
$$1,5.db \leq S \leq 3.db \text{ (Jarak baut ke tepi) } \dots\dots\dots(168)$$

$$3. db \leq S_1 \leq 7.db \text{ (Jarak antara baut) } \dots\dots\dots(169)$$

2.18.8.3 Kasus gaya tarik hanya disalurkan oleh baut.

$$A = A_n \dots\dots\dots(170)$$

adalah luas penampang neto terkecil antara potongan 1-3 dan potongan 1-2-3,



Gambar 2.21.b Perletakan Baut
(Sumber : SNI 03-1729-2002 : hal 71)

Potongan 1-3: $Ant = Ag - n d t$ (171)

Potongan 1-2-3: $Ant = Ag - n d t + \sum \frac{s^2 t}{4u}$ (172)

Keterangan:

Ag = adalah luas penampang bruto, (mm²)

t = adalah tebal penampang, (mm)

d = adalah diameter lubang, (mm)

n = adalah banyaknya lubang dalam garis potongan

s = adalah jarak antara sumbu lubang pada arah sejajar sumbu
komponen struktur, (mm).

u = adalah jarak antara sumbu lubang pada arah tegak lurus sumbu komponen
struktur.

Dalam suatu potongan jumlah luas lubang tidak boleh melebihi 15% luas
penampang utuh.

2.17.9 Sambungan Rangka

2.17.9.1 Hubungan Balok Kolom (Sambungan Rangka Rigid)

Dalam mendesain rangka rigid menurut metode LRFD dan ASD pemindahan gaya pada pertemuan antara balok dan kolom merupakan hal yang penting sekali.

Pada suatu struktur konstruksi baja, sambungan memegang peranan penting baik dalam design elastis maupun design plastis karena pada sambungan itulah keruntuhan suatu struktur paling sering terjadi daripada batang itu sendiri.

Untuk layak direncanakannya suatu sambungan kaku harus:

1. Mentransfer momen ujung antara balok dan kolom
2. Mentransfer geser ujung balok ke dalam kolom
3. Mentransfer geser pada bagian atas kolom ke balok.

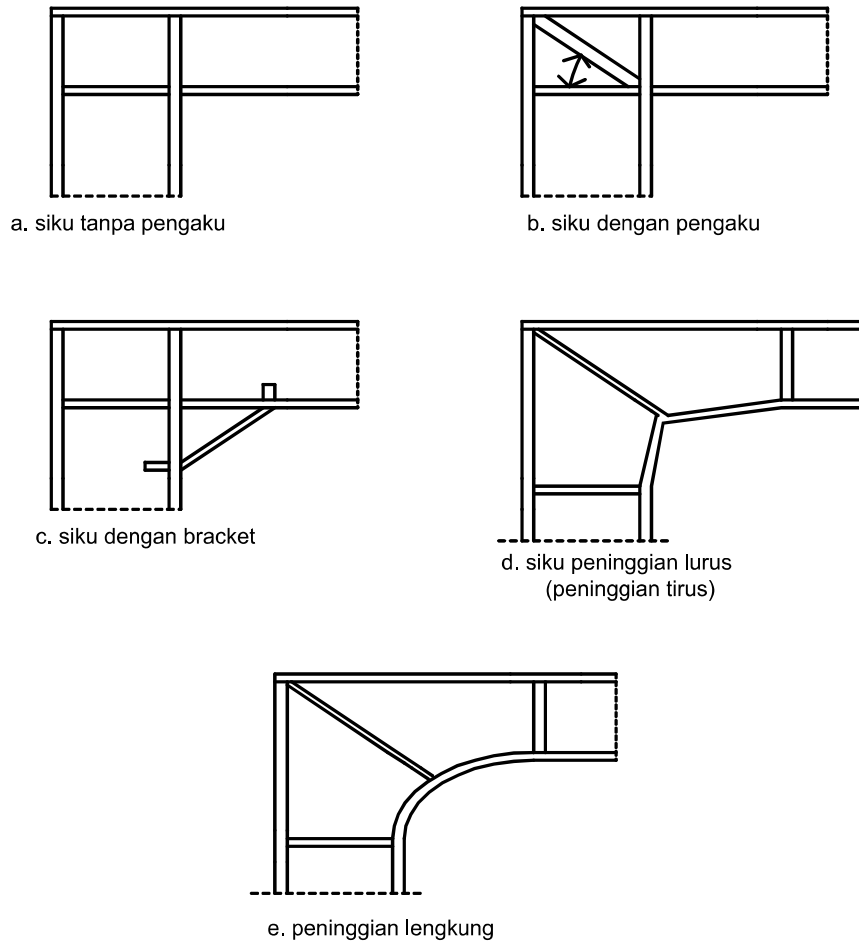
Ada tiga macam keruntuhan suatu struktur pada daerah sambungan yaitu:

- a. Keruntuhan pada daerah tekan, biasanya terjadi karena plastifikasi local *web* (plat badan) dan tekuk local *web*.
- b. Keruntuhan pada daerah tarik, biasanya terjadi karena plastifikasi *flens* (sayap).
- c. Keruntuhan akibat geser, biasanya terjadi pada plat badan.

Selain momen, gaya aksial maupun gaya lintang yang bekerja pada pelat badan juga perlu ditinjau. Hal ini keruntuhan sering terjadi pada plat badan, maka plat badan harus didesain agar dapat memberikan kekuatan terhadap bahaya tekuk akibat gaya lintang dan gaya tekan terpusat

Pengaku (*stiffnes*) sering diperlukan untuk mengurangi bahaya tekuk semacam ini ataupun untuk menjaga kontinuitas bagian sayap penampangnya.

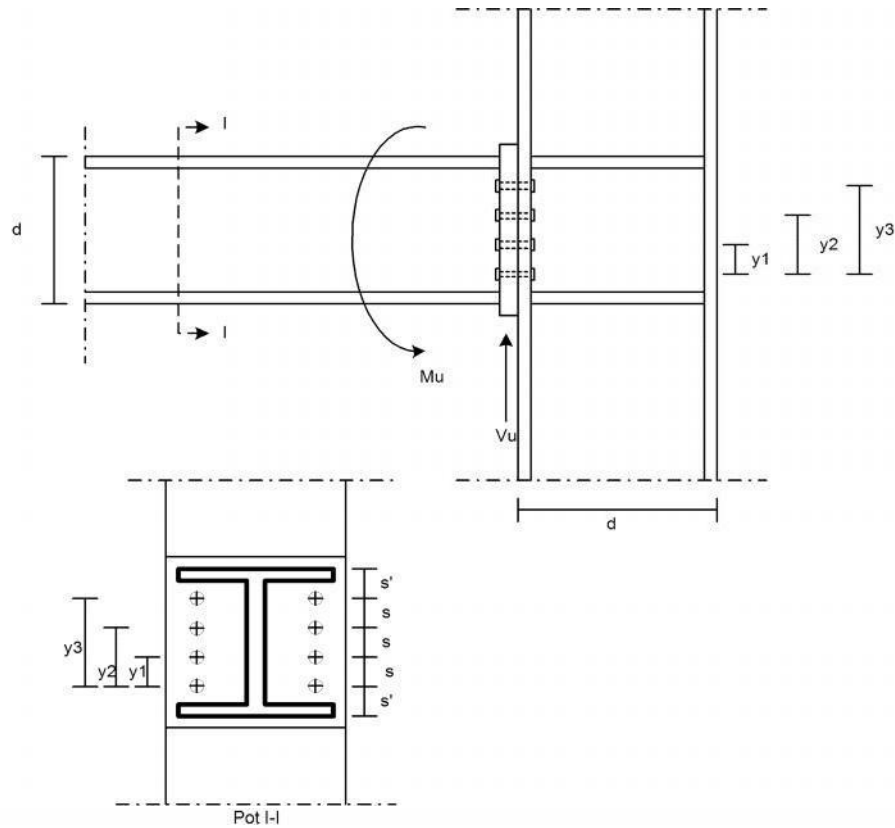
Pada sambungan sudut lurus gaya – gaya bagian sayap (*flans*) yang berasal dari momen dialihkan ke plat badan sambungan sebagai geser horizontal pada kolom (Vc).



Gambar 2 17 Sambungan Siku Rangka rigid

(Sumber : Salmon C. G dan Johnson E. John, 480 : 1996)

2.17.9.2 Sambungan Balok - Kolom



Gambar Sambungan Kolom - Balok

Gambar 2 18 Sambungan balok-kolom

(Sumber : Salmon C. G dan Johnson E. John, 442 : 1996)

Dalam perhitungan sambungan balok – kolom perlu memperhitungkan faktor – faktor :

Kekuatan Geser Nominal Satu Buah Baut (V_d)

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 161

1. Kekuatan Tarik Nominal Satu Baut

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 162

2. Momen Terfaktor (M_u)

$$M_u = P.e \dots\dots\dots (173)$$

3. Gaya Tarik Terfaktor (T_u), (Salmon C. G, 1986 : hal 163) :

$$T_u = \frac{M_u \cdot y}{\sum y^2} \dots\dots\dots (174)$$

$$\sum y^2 = 2(y_1^2 + y_2^2 + y_3^2) \dots\dots\dots (175)$$

Dimana:

T_u = Gaya tarik pada baut (kg)

M_u = Momen Ultimate (kgm)

4. Gaya Geser Terfaktor (V_u)

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 163

5. Tegangan Tarik Baut

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 166 dan 167

6. Jarak Antara Baut

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 168 dan 169

2.17.9.3 Sambungan Plat Ujung (*End Plate*)

Alternatif praktis untuk *split-beam tee connection* adalah sambungan momen pelat ujung (*end-plate moment connection*), karena memiliki detail fabrikasi yang lebih sederhana, satu pelat dilaskan pada ujung dari suatu balok menjadi relatif lebih umum dipakai.

Suatu pendekatan yang konservatif untuk desain sambungan pelat ujung adalah dengan memanfaatkan konsep *prying-action*. Daerah disekitar flens tarik dari suatu balok dapat didesain serupa dengan sambungan profil T balok terpisah. Kelompok alat sambung (*fastener*) didesain untuk gaya geser dan tarik, serta juga setiap efek dari *prying-action*, (Charles G. Salmon, 1996 : hal 460 dan 468).

$$T_{maks} = f_y \cdot t_f \cdot \left(\frac{b}{3} \right) \dots\dots\dots (176)$$

Dimana:

T_{maks} = gaya tarik las sepanjang satu flens (kg)

f_y = tegangan leleh (Mpa)

t_f = tebal flens (cm)

b = tinggi profil (cm)

$$t_p \geq \sqrt{\frac{4,44.Tb'}{w.F_y.(1+a'd)}} \dots\dots\dots (177)$$

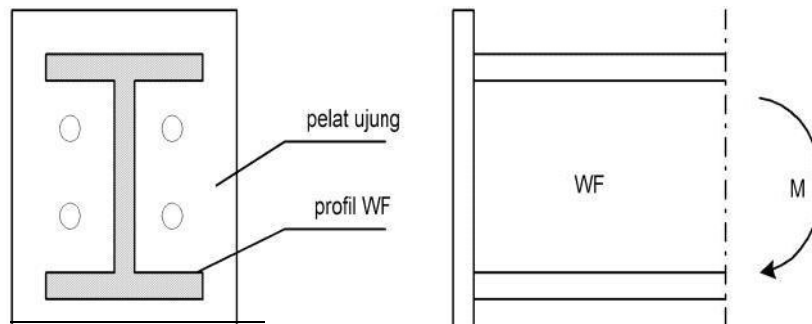
Dimana:

T_{maks} = gaya tarik las sepanjang satu flens (kg)

f_y = tegangan leleh (kg/cm)

W = lebar pelat ujung (cm)

t_p = tebal pelat ujung



Gambar 2 19 Sambungan pelat ujung

(Sumber : Salmon C. G dan Johnson E. John, 475 : 1996)

1. Perhitungan tebal pelat ujung

Gaya tarik las sepanjang satu flens:

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 176 dan 177

2. Perencanaan las pada sambungan pelat ujung

a. Tebal las ($a = t_l$)

$$a = \frac{1}{2} \cdot t_p \cdot \sqrt{2}, (\text{tebal minimum lihat di tabel 2.8}) \dots\dots\dots (178)$$

table 2 7 Ukuran Minimum Las Sudut

Tebal bagian paling tebal t (mm)	Tebal minimum las sudut, t_w (mm)
$t \leq 7$	3
$7 < t < 10$	4
$10 < t < 15$	5
$15 < t$	6

(Sumber : SNI 03-1729-2002, Hal 184)

b) Kekuatan Nominal Las (Rn)

$$\phi_f R_{nw} = 0,75 t_l (0,6 f_{uw}) \text{ (las) } \dots\dots\dots (179)$$

$$\phi_f R_{nw} = 0,75 t_l (0,6 f_u) \text{ (bahan dasar) } \dots\dots\dots (180)$$

Keterangan :

$\phi_f = 0,75$ faktor reduksi kekuatan saat fraktur

f_{uw} = adalah tegangan tarik putus logam las, MPa

f_u = adalah tegangan tarik putus bahan dasar, MPa

t_l = adalah tebal rencana las, mm

2.18 Sambungan Balok – Balok (*Splice Beam*)

2.18.1 Perencanaan Plat Penyambung

a. Kontrol Kuat Leleh

$$\phi \cdot N_n = 0,9 \cdot A_g \cdot f_y \dots\dots\dots (181)$$

b. Kontrol Kekuatan Patah

$$\phi \cdot N_n = 0,75 \cdot A_g \cdot f_u \dots\dots\dots (182)$$

$$A_e = A_U$$

$$U = 1 - (x/L) \leq 0,9 \dots\dots\dots (183)$$

Keterangan

N_n = kekuatan nominal plat penyambung MPa

ϕ = factor reduksi kekuatan

f_y = tegangan leleh material, MPa

f_u = tegangan leleh material, MPa

A_g = luas penampang kotor dari pelat, mm²

A_e = luas bersih dari pelat penyambung yang dilubangi mm²

c. Jarak Antara Baut

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 168 dan 169

2.18.2 Perencanaan Baut Flens

a. Gaya Tarik Terfaktor (T_u)

$$T_u = \frac{Mu}{d - t_f} \dots\dots\dots(184)$$

b. Geser Tunggal Baut

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 161

c. Tumpu Baut

Kuat tumpu rencana bergantung pada yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Apabila jarak lubang tepi terdekat dengan sisi pelat dalam arah kerja gaya lebih besar daripada 1,5 kali diameter lubang, jarak antar lubang lebih besar daripada 3 kali diameter lubang, dan ada lebih dari satu baut dalam arah kerja gaya, maka kuat rencana tumpu dapat dihitung sebagai berikut:

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 163

Kuat tumpu yang didapat dari perhitungan di atas berlaku untuk semua jenis lubang baut. Sedangkan untuk lubang baut selot panjang tegak lurus arah kerja gaya berlaku persamaan berikut ini,

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 164

d. Jumlah Baut (N)

$$n = \frac{T_u}{\phi \cdot R_n} \text{ atau } n = \frac{T_u}{V_d} \dots\dots\dots(185)$$

e. Jarak Antara Baut

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 168 dan 169

2.18.3 Perencanaan Baut Badan

Kekuatan Baut Dalam Geser Ganda (V_d)

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 161

a. Jumlah Baut Dalam Bidang Geser

$$n = \frac{V_u}{\phi \cdot R_n} \dots\dots\dots(186)$$

b. Momen Lentur Nominal

$$\phi_f \cdot Mn = fy \cdot z \dots\dots\dots(187)$$

2.18.4 Kontrol Kekuatan Satu Baut Terhadap Momen

$$\sum x^2 + \sum y^2 \dots\dots\dots(188)$$

$$R_{ux} = \frac{M_n \cdot y}{\sum x^2 + \sum y^2} \dots\dots\dots(189)$$

$$R_{uy} = \frac{M_n \cdot x}{\sum x^2 + \sum y^2} \dots\dots\dots(190)$$

$$R_{uv} = \frac{P}{\sum N} \dots\dots\dots(191)$$

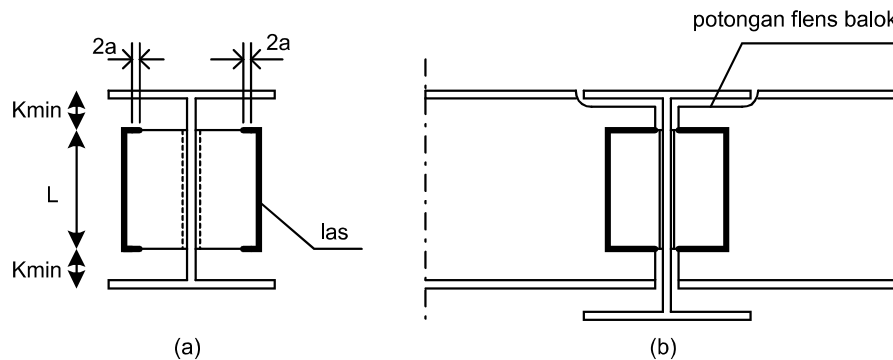
$$R_u = \sqrt{R_{uy}^2 + R_{uv}^2 + R_{ux}^2} \dots\dots\dots(192)$$

Jarak Antara Baut

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 168 dan 169

2.19 Sambungan Balok Induk – Balok Anak

Sambungan balok-balok adalah digunakan untuk menyambung balok ke balok lain atau ke flens kolom jika tumpuan balok dianggap sederhana. Ada beberapa macam sambungan ini, yaitu rata atas, rata bawah balok kecil disambung tengah-tengah antara flens atas dan bawah dari balok yang besar.



Gambar 2 20 Sambungan balok rangka

(Sumber : Salmon C. G dan Johnson E. John, 479 : 1996)

Agar supaya elemen lentur (balok) menjadi satu kesatuan yang utuh maka perlu disambung dengan menggunakan alat sambung baut ataupun las. Dalam merencanakan sambungan tersebut harus dikontrol terhadap kekuatan geser, tarik dan momen yang terjadi.

Dalam perencanaan sambungan balok induk – balok anak perlu memperhitungkan faktor – faktor :

1. Kontrol Kuat Leleh

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 181

2. Kontrol Kekuatan Patah

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 182 dan 183

Kekuatan Geser Nominal Satu Buah Baut (V_d)

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 161

3. Kekuatan Tarik Nominal Satu Baut

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 162

4. Momen Terfaktor (M_u)

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 172

5. Gaya Tarik Terfaktor (T_u)

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 164 dan 174

6. Gaya Geser Terfaktor (V_u)

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 165

7. Tegangan Tarik Baut

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 166 dan 167

8. Jarak Antara Baut

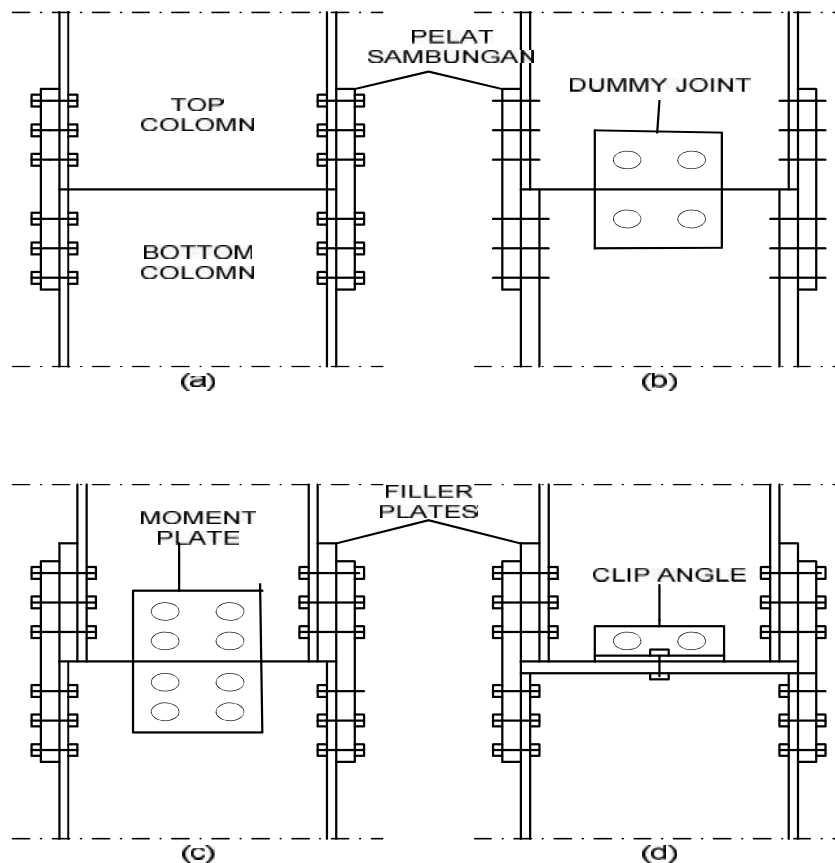
Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 168 dan 169

2.20 Sambungan Kolom – Kolom (*Splice Column*)

Bentangan – bentangan kolom tersedia dalam beberapa standar panjang yang sesuai. Apabila kolom yang dibutuhkan mempunyai bentangan lebih panjang dari standar panjang yang ada, maka penyambungan harus dilakukan. Sambungan – sambungan yang ada seharusnya dirancang untuk menahan gaya aksial, gaya geser horizontal atau momen yang bekerja pada kolom.

Pada gambar menunjukkan beberapa tipe sambungan yang umum digunakan pada sambungan kolom. Pada bagian (a), kolom atas dan kolom bawah adalah bagian yang sama dan telah disambung dengan pelat sambungan pada flens kolom. Tipe penyambungan ini cocok digunakan untuk menahan beban aksial. Pada bagian

(b), bagian kolom atas dan bawah adalah sama kedalamannya, tetapi ketebalan flens pada profil bagian atas lebih kecil dibandingkan dengan flens bagian bawah. Sambungan Bantu juga ditunjukkan dengan 4 baut nominal. Tipe sambungan Bantu ini akan diberikan pada bagian (a) juga. Penyambungan yang ditujukan pada bagian (b) digunakan hanya untuk kolom yang terbebani secara aksial. Pada bagian (c) ditunjukkan dua kolom yang tidak sama kedalamannya yang mengharuskan penggunaan pelat – pelat pengisi. Pelat pengisi ini berfungsi seakan – akan membuat kolom bagian atas sama kedalamannya seperti kolom dibawahnya.



Gambar 2 21 Macam –macam sambungan kolom

(Sumber : Salmon C. G dan Johnson E. John, 470 : 1996)

Dalam perhitungan sambungan kolom – kolom perlu memperhitungkan faktor – faktor :

1. Kontrol Kuat Leleh

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 181

2. Kontrol Kekuatan Patah

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 182 dan 183

3. Jarak Antara Baut

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 168 dan 169

1. Perencanaan Baut Flens

a. Gaya Tarik Terfaktor (T_u)

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 184

b. Geser Tunggal Baut

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 161

c. Tumpu Baut

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 163 dan 164

d. Jumlah Baut (N)

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 185

e. Jarak Antara Baut

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 168 dan 169

2. Perencanaan Baut Badan

Kekuatan Baut Dalam Geser Ganda (V_d)

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 161

a. Jumlah Baut Dalam Bidang Geser

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 186

b. Momen Lentur Nominal

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 187

3. Kontrol Kekuatan Satu Baut Terhadap Momen

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 188 sampai 192

4. Jarak Antara Baut

Perhitungan untuk menghitung bisa / sama dengan persamaan 168 dan 169

2.21 PELAT DASAR KOLOM

Pelat dasar kolom (*column base plate*) mendistribusikan beban terpusat yang bekerja pada elemen kolom ke media penumpu, umumnya suatu pedestal beton atau lantai beton. Beban – beban berat tersebut harus disebarkan untuk mencegah kehancuran beton penumpu. Pertimbangan lainnya adalah sambungan atau angkur dari pelat dasar kolom dan kolom ke pondasi beton. Pada analisis kerangka, evaluasi tentang derajat kekangan dapat menjadi hal yang penting juga.

Desain pelat dasar memperhitungkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Luas pelat dasar akan tergantung pada kekuatan tumpu (*bearing strength*) dari beton dibawah pelat baja.
2. Tebal pelat akan dikendalikan oleh kekuatan lentur pelat. Bila dimensi pelat B dan N, diperlihatkan pada gambar, cukup besar dibandingkan dimensi profil b dan d dari penampang baja, maka pendekatan tradisional adalah dengan mendesain pelat memiliki bentangan kantilever m dan n yang dibebani merata.
3. Untuk pelat yang tidak terlalu jauh melewati batas profil penampang baja, suatu pendekatan alternatif diperlukan. Keadaan ini timbul bila beban kolom adalah relatif kecil. Dalam kasus ini, pelat yang dibebani cukup ringan dapat

diperlakukan sebagai terbebani merata seluas bentuk-H yaitu A_H yang bersebelahan dengan keliling sebelah dalam kolom, seperti tampak pada gambar.

Spesifikasi LRFD tidak memberikan prosedur desain yang spesifik untuk pelat dasar (*base plate*). Manual LRFD (1.17) dalam pasal “*Column Base Plates*” berisi prosedur yang melibatkan pertimbangan yang telah dipaparkan diatas.

Tetapkan dimensi $B \times N$. Ini akan dikendalikan oleh tumpu pada beton. Kekuatan tumpu desain $f_c P_p$ harus sekurang-kurangnya sama dengan beban kolom terfaktor P_u , (Sumber : Salmon C. G., 1996 : hal 488)

$$f_c P_p \geq P_u \dots\dots\dots (191)$$

Terdapat dua golongan untuk kekuatan nominal P_p dalam tumpu:

- 1). Tumpu pada luas penuh A_1 dari beton penumpu.

$$P_p = 0.85 f_c' A_1 \dots\dots\dots (192)$$

- 2). Tumpu pada luas A_1 yang kurang dari luas penuh A_2 dari beton penumpu.

$$P_p = 0.85 f_c' A_1 \sqrt{A_2 / A_1} \leq 0.85 f_c' (2 A_1) \dots\dots\dots (193)$$

dimana:

$f_c' = 0.60$ untuk tumpu pada beton

A_1 = luas pelat baja yang secara terkonsentris menumpu pada beton penumpu

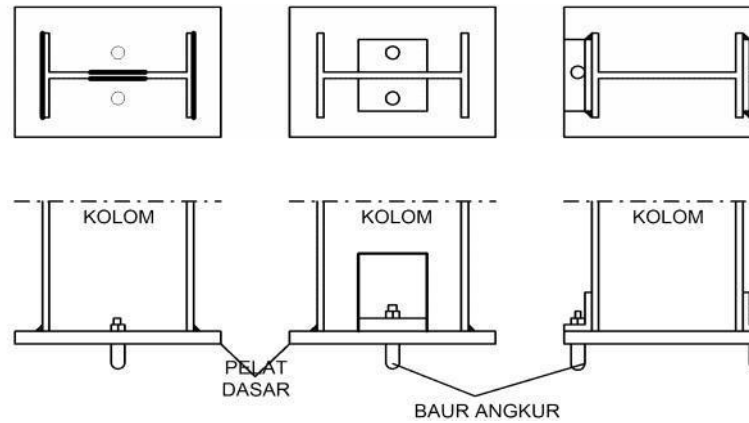
A_2 = Luas ($B \times N$) maksimum bagian permukaan penumpu yang secara geometri serupa dengan konsentris dengan luas pembebanan

f_c' = kekuatan tekan beton 28 hari yang dispesifikasikan.

Untuk tebal pelat t didapat:

$$t = \ell \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot Pu}{0,9 \cdot Fy \cdot B \cdot N}} \quad \dots\dots\dots (194)$$

Harga B dan N yang terbesar akan digunakan untuk mendapatkan tebal yang diperlukan.



Gambar 2 22 Konstruksi dasar kolom

(Sumber : Salmon C. G dan Johnson E. John, 493 : 1996)

BAB III

DATA PERENCANAAN

3.1 Data Perencanaan

3.1.1 Data Umum Bangunan

Pembangunan Gedung Fakultas Hukum Pasca Sarjana Universitas Brawijaya terletak di Jl.Veteran Malang dengan luas bangunan 1152 m² dan jumlah 11 lantai serta struktur awal adalah menggunakan beton bertulang.

3.1.2 Data Teknis Bangunan

- Struktur gedung : Kombinasi Elemen Struktur Beton Bertulang
& Struktur Baja
- Zone Gempa : Zone 4 (Malang)
- Jumlah Lantai : 11 Lantai
- Panjang : 48 m
- Lebar : 24 m

3.1.3 Mutu Bahan Yang Digunakan

- Mutu beton (fc') : 30 Mpa
- Mutu tulangan :
 - Tegangan Leleh (fy) : 240 MPa
 - Tegangan Putus (fu) : 370 MPa
 - Mutu Baut : A325

Diameter Baut : 3/4" (19,1mm)

Dicoba Dimensi Beton :

Dimensi balok memanjang(Y-Y) : 40/60

Dimensi balok melintang (X-X) : 40/60

Dimensi balok anak memanjang (Y-Y) : 30/50

Dimensi balok anak melintang(X-X) : 30/50

Dimensi balok kolom utama : 70/70

Dimensi balok kolom tepi : 40/60

Dicoba Dimensi Baja Profil:

Dimensi profil memanjang : WF 300 x 150 x 5.5 x 8

Dimensi profil melintang : WF 400 x 200 x 8 x 13

Dimensi profil anak memanjang : WF 300 x 150 x 5.5 x 8

Dimensi profil kolom : H 400 x 400 x 13 x 21

3.2 Tahapan Perencanaan

Tahapan dari perencanaan gedung Fakultas Hukum Pasca Sarjana Universitas Brawijaya meliputi tahapan sebagai berikut:

3.2.1 Analisa pembebanan

Pembebanan yang diperhtungkan pada perencanaan Gedung Fakultas Hukum Pasca Sarjana Universitas Brawijaya secara garis besar adalah sebagai berikut:

- Beban Mati (Dead Load)
- Beban Hidup (Live Load)
- Beban Gempa (Earth Quake Load), untuk kota Malang berdasarkan SNI 03 – 1726 – 2002 adalah termasuk wilayah gempa zona 4

Berdasarkan beban-beban tersebut maka struktur Gedung Fakultas Hukum Pasca Sarjana Universitas Brawijaya harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan berikut :

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (A \text{ atau } R)$
3. $1,2 D + 1,0 L + 1,6 W + 0,5 (A \text{ atau } R)$
4. $0,9 D \pm 1,6 W (A \text{ atau } R)$
5. $1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$

3.2.2 Analisa Statika

Untuk mendapatkan besarnya gaya-gaya dalam yang bekerja pada struktur gedung yaitu digunakan program struktur Staad Pro 2004

3.2.3 Desain Beton Bertulang

Sistem yang digunakan dalam merencanakan struktur beton bertulang di skripsi ini yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

3.2.4 Gambar Struktur

Dari hasil perencanaan, akan dibuat gambar struktur sesuai perhitungan yang telah dilakukan, baik denah struktur maupun pendetailan portal melintang, portal memanjang, dimensi portal dan tulangan yang digunakan.

BAB V

PERHITUNGAN PENULANGAN STRUKTUR

5.1 Perhitungan penulangan struktur

Penulangan yang di rencanakan adalah pada balok melintang Line 3, lantai 2

Tabel 5.1 kesimpulan momen lentur untuk desain balok F3 - E3

Jenis Beban	Lokasi	Lantai 2 (kN m)	Lantai 5 (kN m)
Mati (D)	Negatif terluar	- 60.017	- 42.31
	Positif	70.278	54.111
	Negatif Interior	- 75.813	- 65.154
Hidup (L)	Negatif terluar	- 21.065	- 15.337
	Positif	28.528	17.802
	Negatif Interior	- 30.459	- 18.626
Gempa (E)	Negatif	115.914	80.221
	Positif	93.345	35.169
Kombinasi			
1. 1.4D	Negatif terluar	- 106.139	- 59.234
	Positif	99.727	75.755
	Negatif Interior	- 84.024	- 91.216
2. 1.2D + 1.6L	Negatif terluar	- 139.71	- 75.331
	Positif	120.406	92.658
	Negatif Interior	- 105.724	- 107.986
3. 1.2D + 1.0L ± 1.0E	Negatif terluar	- 5.521	- 30.904
		237.348	101.278
	Positif	119.37	79.175
	Negatif Interior	- 186.43	177.032
		0.26	16.589
4. 0.9D ± 1.0E	Negatif terluar	47.682	2.91
		184.146	73.247
	Positif	57.909	45.337
	Negatif Interior	- 147.36	- 138.86
		39.33	21.583

5.1.1 Penulangan Lapangan

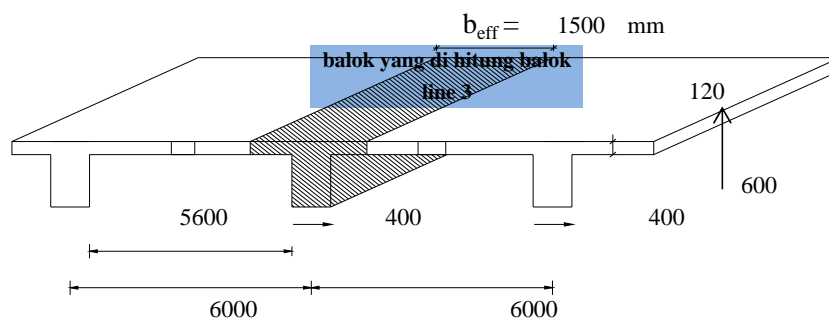
** Data Perencanaan

b_w	=	400	mm
h	=	600	mm
h_f	=	120	mm
D	=	22	mm
F_c'	=	30	Mpa
F_y untuk tulangan ulir	=	360	Mpa
F_y untuk tulangan polos	=	240	Mpa
M_u	=	120.406	kNm
Selimut beton	=	40	mm
\emptyset Sengkang	=	10	mm

Lebar plat efektif sebagai bagian dari sayap balok T tidak boleh melebihi

$b_e \leq \frac{1}{4}$ bentang balok ($\frac{1}{4} L$)

$$b_e \leq \left\{ \frac{1}{4} \times L = \frac{1}{4} \times 6 = 1.5 \text{ m} \right.$$



Gambar.5.1 Balok T sebagai sistem lantai

** $d = h - \text{selimut beton} - \varnothing \text{ Sengkang} - \frac{1}{2} \cdot \varnothing \text{ tulangan tarik}$

$$= 600 - 40 - 10 - 0.5 \times 22$$

$$= 539.0 \text{ mm}$$

** $d' = h - d$

$$= 600 - 539$$

$$= 61.0 \text{ mm}$$

** Momen Relatif (M_R)

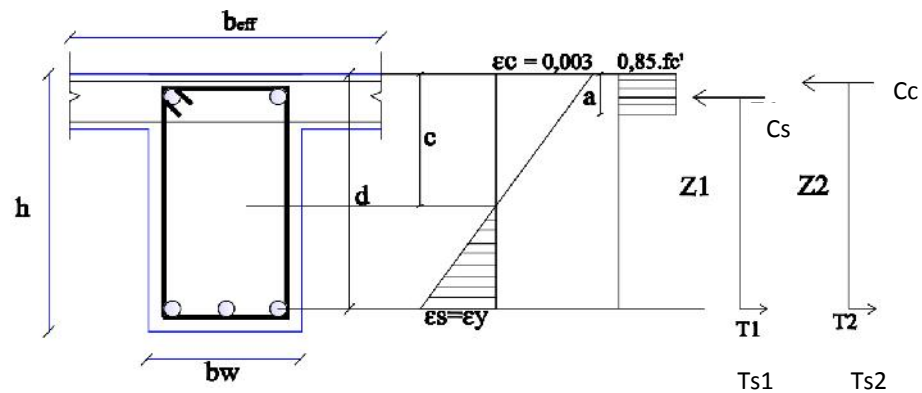
$$M_R = \varnothing \cdot (0.85 \cdot f_c') \cdot b_e \cdot h_t \cdot (d - \frac{1}{2} \cdot h_t)$$

$$= 0.8 \times (0.85 \times 30) \times 1500 \times 120 (539.0 - 0.5 \times 120)$$

$$= 2418012000.00 \text{ Nmm}$$

$$= 2418.01 \text{ KNm} > M_U = 120.41 \text{ KNm}$$

Karena $M_R > M_U$ maka balok boleh di perhitungkan sabagai balok T



Gambar 5.2 Sketsa perencanaan pada lapangan balok F3 - E3

$$k_{\text{perlu}} = \frac{M_u}{\phi \times b_e \times d^2}$$

Ket : k = faktor panjang efektif

komponen struktur tekan

$$= \frac{120.406 \times 10}{0.8 \times 1500 \times 539^2}$$

$$= 0.3454 \text{ Mpa}$$

Dari tabel A-12. Istimawan Hal.469 nilai $k = 0.345 \text{ Mpa}$ di peroleh :

$$\rho = 0.003$$

Luas tulangan baja tarik yang di butuhkan,

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0.003 \times 1500 \times 539.0 \\ &= 2426 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Periksa ρ_{min} dan $A_{s(maks)}$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{240} = 0.006$$

$$\rho_{aktual} = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{2425.5}{400 \times 539.0} = 0.0113$$

ρ_{aktual} harus lebih besar dari ρ_{min} $\rho_{aktual} > \rho_{min}$

$$\text{Dipakai } A_s = 2425.50 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{jumlah tulangan tarik } n &= \frac{2425.50}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \\ &= 6.384 \longrightarrow \text{dipakai } 7 \text{ batang} \end{aligned}$$

Digunakan tulangan total $A_s = 7.0 \text{ D } 22 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_s &= 7 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2659.6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan tarik $A_s = 2659.6 \text{ mm}^2 > A_{s,u} = 2425.50 \text{ mm}^2 \text{ Ok}$

$$\begin{aligned}\text{untuk tulangan tekan } 50 \% \text{ dari tulangan tarik} &= 50\% \times 2425.5 \text{ mm}^2 \\ &= 1212.8 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{jumlah tulangan tarik } n &= \frac{1212.75}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2} \\ &= 3.2 \longrightarrow \text{dipakai 4.0 batang}\end{aligned}$$

Digunakan tulangan total A_s 4.0 D 22 mm

$$\begin{aligned}A_s &= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 1519.8 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan tekan $A_s' = 1519.8 \text{ mm}^2 > A_{s,u} = 1212.75 \text{ mm}^2$ Ok

Periksa persyaratan daktilitas

$A_s(\text{maks})$ harus lebih besar dari A_s perlu

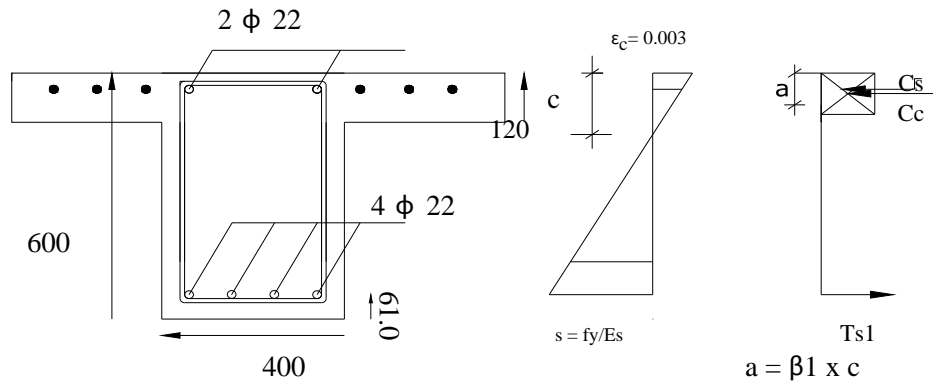
$$\begin{aligned}A_s(\text{maks}) &= 0,0319 \cdot hf \left\{ b + bw \left(\frac{0,150 \cdot d}{hf} - 1 \right) \right\} \\ &= 0.0319 \times 120 \left(1500 + 400 \left(\frac{0.15 \times 539.0}{120} - 1 \right) \right) \\ &= 636954 \text{ mm}^2 \\ A_{s(\text{maks})} &= 636954 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} = 2659.6 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

maka di coba dengan tulangan tarik 4 ϕ 22 dan tulangan tekan 2 ϕ 22

a. Penampang balok

b. Diagram regangan

c. Diagram tegangan



Dengan menganggap bawah tulangan baja tarik meluluh, maka gaya tarik T oleh

flens :

$$T_{s1} = A_{s1} \times F_y$$

$$Nb : A_{s1} = 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 1519.76 \times 240$$

$$= 364742 \text{ N}$$

$$\Sigma T_s = 364742.4 \text{ N}$$

misalkan $a = \beta_1 c$

$$C_c = 0.85 \times f_c' \times \beta_1 \times c \times b_e$$

$$= 0.85 \times 30 \times 0.85 \times c \times 1500$$

$$= 32512.5 c \text{ N}$$

$$C_s = A_{s'} \times f_y$$

$$= 759.88 \times 240 = 182371.20 \text{ N}$$

$$\Sigma C = \Sigma T_s$$

$$32512.5 c + 182371.20 = 364742.4$$

$$32512.5 c = 182371.20$$

$$c = 5.61$$

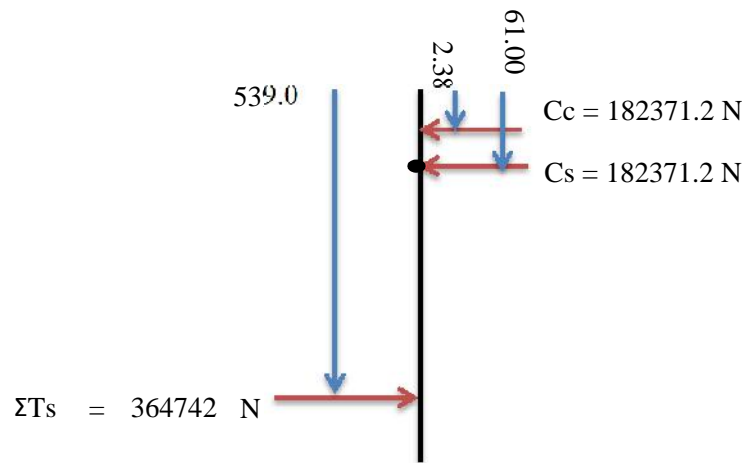
$$C_c = 32513 \times c$$

$$= 32513 \times 5.61 = 182371.20 \text{ N}$$

$$a = \beta_1 \times c$$

$$= 0.85 \times 5.61 = 4.77 \text{ mm} < h_f = 120 \text{ mm}$$

$$\frac{1 \times c}{2} = \frac{4.77}{2} = 2.38$$



$$\begin{aligned}
 + \Sigma m_{Ts} &= (182371.20) \times (539.0 - 61.0) \\
 &\quad + (182371.2) \times (539.0 - 2.4) \\
 &= 185036749 \text{ Nmm} \\
 &= 185.036749 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

$$MR = \phi \times Mn$$

$$= 0.8 \times 185.036749$$

$$= 148 \text{ KNm} > Mu = 120.406 \text{ KNm} \text{OK}$$

5.1.2 Penulangan Tumpuan

5.1.2 .1 Penulangan Tumpuan beam 1723 momen negatif

** Data Perencanaan

b_w	=	400	mm	F_c'	=	30	Mpa
h	=	600	mm	F_y untuk tulangan ulir	=	360	Mpa
h_f	=	120	mm	F_y untuk tulangan polos	=	240	Mpa
b_e	=	1500	mm	M_u	=	184.15	kNm
D	=	22	mm				
\emptyset Sengkang	=	10	mm	Selimut beton	=	40	mm

** $d = h - \text{selimut beton} - \emptyset \text{ Sengkang} - \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tulangan tarik}$

$$= 600 - 40 - 10 - 0.5 \times 22$$

$$= 539.0 \text{ mm}$$

** $d' = h - d$

$$= 600 - 539$$

$$= 61.0 \text{ mm}$$

** Momen Nominal

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{184.146}{0.8} = 230.18$$

$$A_s \text{ Perlu} = \frac{0.85 \times f_c' \times b \times d}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times M_n}{0.85 \times f_c' \times b \times d^2}} \right]$$

$$A_s \text{ Perlu} = \frac{0.85 \times 30 \times 400 \times 539}{240} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 429.75 \times 10^6}{0.85 \times 30 \times 400 \times 537^2}} \right]$$

$$A_s \text{ Perlu} = 1854.46 \text{ mm}^2$$

$$f'_c > 30 \text{ Mpa} \longrightarrow \rho = 0.85 - (f'_c - 30) \times 0.008$$

$$\rho = 0.85$$

$$f'_c = 30 \text{ Mpa} \longrightarrow \rho = 0.85$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \frac{0.85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{f_y + 600} \times b \times d$$

$$= 0.75 \times \frac{0.85 \times 30 \times 0.85}{240} \times \frac{600}{240 + 600} \times 400 \times 539$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times \rho_b$$

$$= 0.8 \times 13908.1$$

$$= 10431.1 \text{ mm}^2$$

Dan tidak boleh lebih kecil dari:

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} \times b_w \times d = \frac{1.4}{240} \times 400 \times 539 = 1257.7$$

$$\rho_{\min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times b_w \times d = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 600} \times 400 \times 539$$

$$= 492.037 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 1854.5 \text{ mm}^2 > \rho_{\min} = 1257.7 \text{ mm}^2 < \rho_{\max} 10431.09 \text{ mm}^2$$

karena $\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\min}$ maka di pakai : $\rho_{\text{perlu}} = 1854.5 \text{ mm}^2$

Dipakai Diameter tulangan D 22 mm

$$\rho = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 379.9 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{\rho_{\text{perlu}}}{\rho} = \frac{1854.46}{379.94} = 4.881 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah}$$

Dipakai diameter 5 D 22

$$A_s = 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 1900 \text{ mm}^2$$

As pakai = 1900 mm² > As perlu = 1854.5 mm² Ok

untuk tulangan tekan 50 % dari tulangan tarik = 50% x 1899.7 mm²

$$= 949.9 \text{ mm}^2$$

$$\text{jumlah tulangan tarik } n = \frac{949.85}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}$$

$$= 2.5 \longrightarrow \text{dipakai 3.0 batang}$$

Digunakan tulangan total A_s' = 3.0 D 22 mm

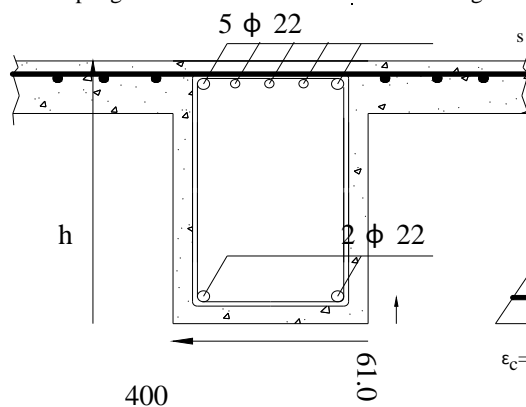
$$A_s = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 1139.8 \text{ mm}^2$$

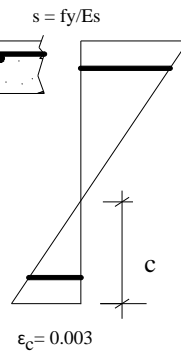
Digunakan tulangan tekan A_s' = 1139.8 mm² > A_{s,u} = 949.85 mm² Ok

maka di coba denga tulangan tarik 5 Ø 22 dan tulangan tekan 2 Ø 22

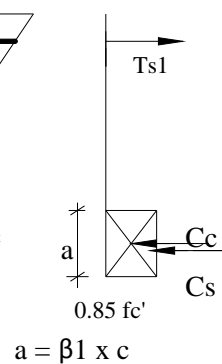
a. Penampang balok



b. Diagram regangan



c. Diagram tegangan



misalkan tulangan tarik dan tulanga tekan leleh

$$T_{s1} = A_{s1} \times F_y$$

$$= 1899.7 \times 240$$

$$= 455928 \text{ N}$$

$$\Sigma T_s = 455928 \text{ N}$$

$$Nb : A_{s1} = 5 \times 1/4 \times \pi \times D^2$$

Concrete

$$C_c = 0.85 \times f_c' \times \beta_1 \times c \times b$$

$$= 0.85 \times 30 \times 0.81 \times c \times 400$$

$$= 8262 c \text{ N}$$

$$\frac{c}{0.003} = \frac{c - d'}{c}$$

$$c = 0.003 \left(\frac{c - 61.0}{c} \right)$$

$$f_s = \epsilon E = 0.003 \left(\frac{c - 61.0}{c} \right) \times 200000$$

$$= 600 \left(\frac{c - 61.0}{c} \right)$$

$$C_s = f_s \times A_{s'}$$

$$Nb : A_{s'} = 3 \times 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$= 600 \left(\frac{c - 61.0}{c} \right) \times 1139.82$$

$$= 683892 \left(\frac{c - 61.0}{c} \right)$$

$$H = 0 \longrightarrow C_c + C_s = T_{s1}$$

$$\begin{aligned}
8262 c + 683892 \left(\frac{c - 61.0}{c} \right) &= 455928 \\
&= 455928 \\
8262.0 c^2 + 683892 (c - 61) &= 455928 c \\
8262.0 c^2 + 683892 c - 41717412 &= 455928 c \\
8262.0 c^2 + 227964 c - 41717412 &= 0 \\
c^2 + 27.59187 a - 5049.3 &= 0
\end{aligned}$$

Dengan Rumus ABC

$$C_{1,2} = \frac{B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$$

$$C_{1,2} = \frac{27.59 \pm \sqrt{(27.59)^2 - 4(1)(-5049.3)}}{2 \times 1}$$

$$c_1 = -58.59$$

$$c_2 = 86.18 \quad \text{maka di ambil } C_2 = 86.1813 \text{ mm}$$

1 check tulangan bawah

$$f_{sy} = 240 \text{ Mpa}$$

$$f_s = 600 \left(\frac{c - 61.0}{c} \right) = 600 \left(\frac{86.2 - 61.0}{86.2} \right)$$

$$f_s = 175.3 \text{ Mpa} < f_{sy} = 240 \text{ Mpa} \quad \text{tulangan tekan belum leleh}$$

2 check $\epsilon_c = \epsilon_T$

$$\begin{aligned}
C_c &= 8262 c \\
&= 8262.0 \times 86.18 \\
&= 712029.8 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$C_s = 683892 \left(\frac{c - 61.0}{c} \right) = 683892 \left(\frac{86.2 - 61.0}{86.18} \right)$$

$$= 199826.214 \text{ N}$$

$$\Sigma T_s = 455.928 \text{ KN}$$

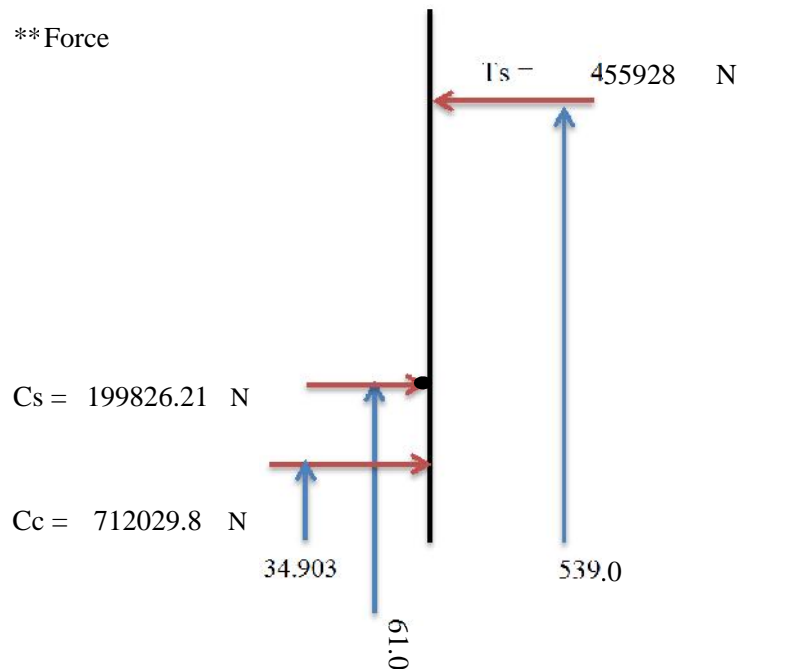
$$\Sigma c = 911.86 \text{ KN} \quad \Sigma T_s = 455.9 \text{ KN}$$

$$a = \beta_1 \times c$$

$$= 0.81 \times 86.2 = 69.81 \text{ mm}$$

$$\frac{\beta_1 \times c}{2} = \frac{69.81}{2} = 34.9 \text{ mm}$$

**Force



$$\begin{aligned}
 + \Sigma m_{T_s} &= (712029.8) \times (539.0 - 34.90) \\
 &+ (199826.21) \times (539.0 - 61.0) \\
 &= 454448710 \text{ Nmm} \\
 &= 454.44871 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

$$MR = \phi \times Mn$$

$$= 0.8 \times 454.44871$$

$$= 363.6 \text{ KNm} > Mu = 184.15 \text{ KNm} \text{OK}$$

5.1.2 .1 Penulangan Tumpuan beam 1728 momen negatif

b_w	=	400 mm	F_c'	=	30 Mpa
h	=	600 mm	F_y untuk tulangan ulir	=	360 Mpa
h_f	=	120 mm	F_y untuk tulangan polos	=	240 Mpa
b_e	=	1500 mm	M_u	=	237.348 kNm
D	=	22 mm			

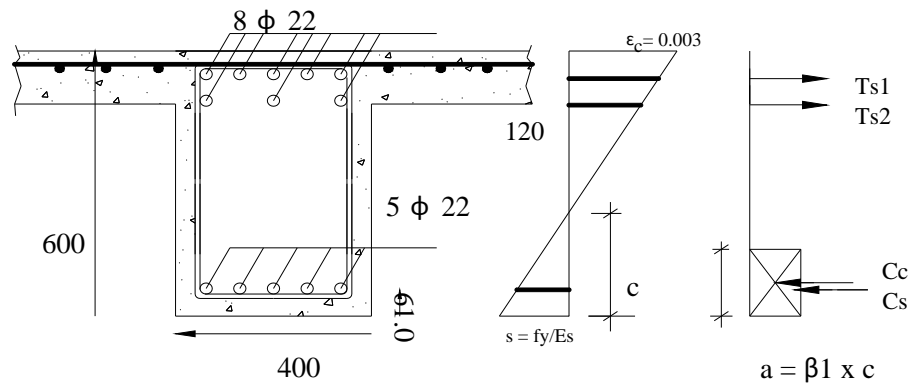
Ø Sengkang = 10 mm Selimut beton = 40 mm

maka di coba denga tulangan tarik 8 Ø 22 dan tulangan tekan 5 Ø 22

a. Penampang balok

b. Diagram regangan

c. Diagram tegangan



Dengan menganggap bawah tulangan baja tarik meluluh, maka gaya tarik T oleh

flens :

$$T_{s1} = A_{s1} \times F_y$$

$$Nb : A_{s1} = 5 \times 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$= 1899.7 \times 240$$

$$= 455928 \text{ N}$$

$$T_{s2} = A_{s2} \times F_y$$

$$Nb : A_{s2} = 3 \times 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$= 1139.82 \times 240$$

$$= 273557 \text{ N}$$

$$\Sigma T_s = 729484.8 \text{ N}$$

Dengan menganggap seluruh flens sebagai daerah tekan, maka gaya tekan oleh

flens :

misalkan $a = ht$

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times c \times b$$

$$= 0,85 \times 30 \times 0,85 \times c \times 400$$

$$= 8670 \, c \, \text{N}$$

$$C_s = A_s' \times f_y$$

$$= 431,75 \times 240 = 103620,00 \, \text{N}$$

$$\Sigma C = \Sigma T_s$$

$$8670 \, c + 103620,00 = 729484,8$$

$$8670 \, c = 625864,80$$

$$c = 72,19$$

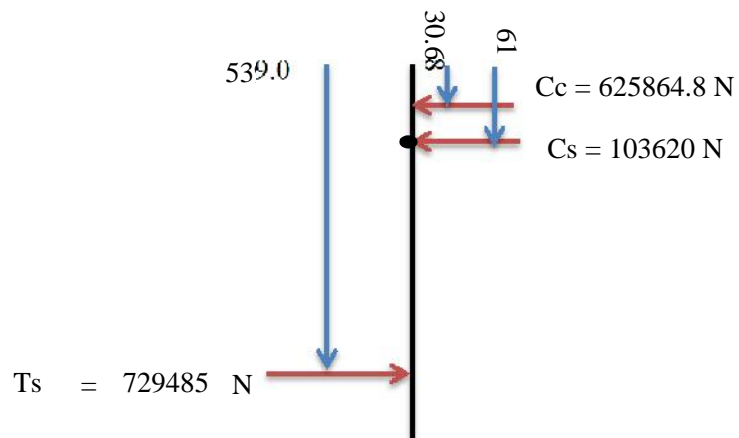
$$C_c = 8670 \times c$$

$$= 8670 \times 72,19 = 625864,80 \, \text{N}$$

$$a = \beta_1 \times c$$

$$= 0,85 \times 72,19 = 61,36 \, \text{mm} < h_f = 120 \, \text{mm}$$

$$\frac{1 \times c}{2} = \frac{61,36}{2} = 30,68$$



$$\begin{aligned}
 + \Sigma m_{T_s} &= (103620.00) \times (539.0 - 61.0) \\
 &\quad + (625864.8) \times (539.0 - 30.7) \\
 &= 367670176 \text{ Nmm} \\
 &= 367.670176 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MR &= \phi \times M_n \\
 &= 0.8 \times 367.670176 \\
 &= 294.1 \text{ KNm} > M_u = 237.348 \text{ KNm} \quad \text{.....OK}
 \end{aligned}$$

5.2 Perhitungan penulangan geser balok

5.2.1 Data perencanaan

* Balok pada lantai 2 beam F3 - E3

$$b_w = 400 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$f_c' = 30.0 \text{ Mpa}$$

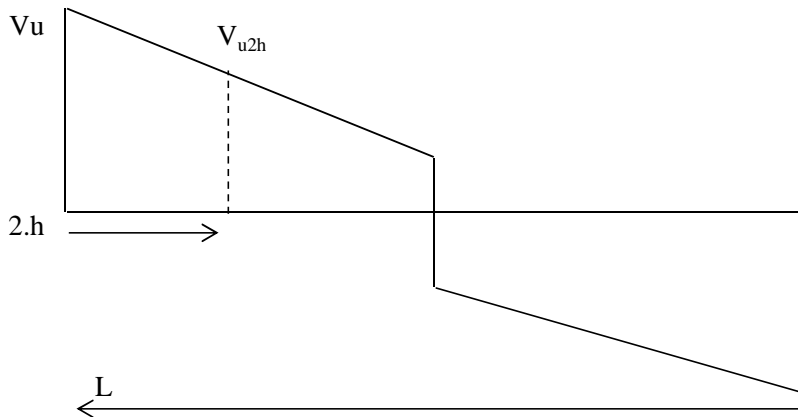
$$d = 539.0 \text{ mm}$$

$$f_y = 240 \text{ Mpa (Tul. Geser)}$$

$$L = 6000 \text{ mm}$$

$$= \text{factor reduksi geser } 0.6$$

$$V_u = 121 \text{ kN}$$



Tulangan geser pada daerah sendi plastis

$$V_{u2h} = \frac{L - 2 \times h}{L} \times V_u$$

$$= \frac{6000.0 - 2 \times 600}{6000.0} \times 121.00 = 96.80 \text{ kN}$$

Daerah sendi plastis diambil sejauh $2h$ dari muka tumpuan sesuai SNI 2847

pasal 23.3.3.1

Untuk komponen struktur penahan SPBL, sesuai dengan SNI-2847 pasal

23.3.(4(2)) menyatakan bahwa $V_c = 0$, apabila :

1 . Gaya geser akibat gempa saja (M_{pr}) > total gaya geser (M_{pr} + beban grafitasi)

2 . Gaya aksial tekan < $\frac{A_g \times f_c'}{20}$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{121.0}{0.75}$$

$$= 161.3 \text{ kN} \quad \phi = 0.75 \text{ sesuai SNI -2847,pasal 11.3.(2(3))}$$

Direncanakan Tulangan Sengkang 10 mm (2 kaki) maka didapatkan
 ϕ jarak sengkang

$$s = \frac{A_v \times f_y \times b}{V_s} = \frac{(2 \times 1/4 \times \pi \times 10^2) \times 240 \times 400}{161333.3}$$

$$= 93.4 \text{ mm}, \quad \text{dipakai } s = 90.0 \text{ mm}$$

$$V_s \text{ terpasang} = \frac{A_v \times f_y \times b}{s} = \frac{(2 \times 1/4 \times \pi \times 10^2) \times 240 \times 400}{90.0}$$

$$= 167.47 \text{ kN}$$

Persyaratan spasi maksimum pada daerah gempa SNI-2847 pasal 23.10.(4.(2))

S_{maks} sepanjang sendi plastis balok $2h = 2 \times 600 = 1200 \text{ mm}$

$$* \frac{d}{4} = \frac{539.0}{4} = 134.8 \text{ mm}$$

$$* 8 \times \text{diameter tulangan utama} = 8 \times 22 = 176.0 \text{ mm}$$

$$* 24 \times \text{diameter tulangan sengkang} = 24 \times 10 = 240.0 \text{ mm}$$

$$* 300$$

jadi dipakai sengkang dengan jarak $s = 90.00 \text{ mm}$ dan sengkang pertama

dipasang sejarak 50 mm dari muka kolom kedua ujung balok SNI 2847 23.3.3.2

Kontrol kuat geser nominal tak boleh lebih besar dari $V_s \text{ max}$ (pasal 13.5(6(9)))

$$V_s \text{ max} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d = \frac{2}{3} \times \sqrt{30.0} \times 400 \times 539.0$$

$$= 787.26 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{Ok}$$

Jadi, dalam spasi sengkang

maka persyaratan $s_{maks} \leq 1/2d$ atau 600 mm, $1/2 d = 269.5$

digunakan spasi sengkang : 90 mm dipake pada daerah sendi plastis

untuk daerah diluar sendi plastis di ambil $1/4 d = 134.8$ maka di ambil 130 mm

sedangkan persyaratan $s_{maks} \leq 1/2d$ atau 600 mm, $1/2 d = 269.5$

5.3 Perhitungan Penulangan Kolom

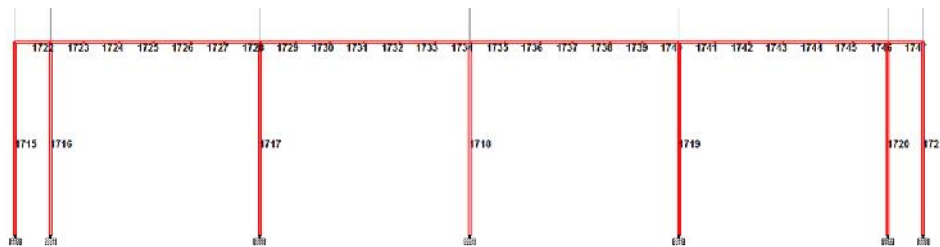
5.3.1 perhitungan penulangan lentur dan aksial kolom F3

Tabel 5.2 kesimpulan beban aksial dan momen lentur pada kolom E3 antara lantai tingkat ke-1 dan Ke-2

Jenis Beban	Axial (kN)	Momen (kN m)
Mati (D)	2540	14.762
		- 15.541
Hidup (L)	885	7.834
		- 8.883
Gempa (E)	43.6	385.823
		491.07
Kombinasi Beban		
1. 1.4D	3560	20.667
		- 21.757
2. 1.2D + 1.6L	4470	30.249
		- 32.862
3. 1.2D + 1.0L ± 1.0E	3830	- 378.213
		482.678
	4040	393.433
		- 499.642
4. 0.9D ± 1.0E	2180	- 381.942
		486.7
	2390	389.705
		- 495.439

Dari hasil Out-put STAAD PRO 2004

Nu	=	4470.00	kN	b	=	600	mm
Mu _{atas}	=	393.433	kNm	h	=	600	mm
Mu _{bawah}	=	499.64	kNm	f _c	=	30	Mpa
Panjang Tekuk	=	6000	mm	f _y	=	360	Mpa
selimut beton	=	40	mm	untuk ϕ	=	0.65	
Diameter Tul.	=	25	mm	untuk kolom dengan			
Diameter Sen.	=	12	mm	pengikat (tulangan geser)			



Gambar 5.2 nomor balok kolom lantai 1

a) faktor pembesar momen δ_s pada lantai bawah

$$I_k = 0.7 \times \frac{1}{12} \times 0.6 \times 0.6^3 = 0.008 \text{ m}^4$$

$$= 7.56 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_b = 0.35 \times \frac{1}{12} \times 0.4 \times 0.6^3 = 0.00252 \text{ m}^4$$

$$= 25.20 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_b = 0.35 \times \frac{1}{12} \times 0.3 \times 0.4^3 = 0.00056 \text{ m}^4$$

$$= 5.60 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

panjang bersih kolom l_u :

a) panjang kolom efektif $l_u = 6 - 0.6 / 2 = 5.7 \text{ m}$

b) panjang balok efektif $l_u = 6 - 0.6 / 2 = 5.7 \text{ m}$

c) panjang kolom efektif $l_u = 6 - 0.4 / 2 = 5.8 \text{ m}$

$$\psi = \frac{\sum \left(\frac{EI}{l_u} \right)_{kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{l_u} \right)_{balok}} = \frac{E_c \times (0.0076 / 5.7 + 0.00756 / 5.7)}{E_c \times (0.0025 / 5.7 + 0.00252 / 5.8)} = 3.026$$

$B = 0$ (perletakan berupa jepit)

$$M = \frac{A + B}{2} = \frac{3.026 + 0}{2} = 1.513$$

karena $m < 2$

$$k = \frac{20 - \psi_m}{20} \sqrt{1 + \psi_m} = \frac{20 - 1.513}{20} \times \sqrt{1 + 1.513} = 1.465$$

jari -jari inersia kolom $r = 0.3 \times h$

$$= 0.3 \times 600 = 180 \text{ mm} = 0.18 \text{ m}$$

a) untuk panjang kolom efektif $l_u = 5.7 \text{ m}$

$$k l_u / r = \frac{1.465 \times 5.7}{0.18} = 46.4021$$

$$34 - 12 \left(\frac{M_{u1}}{M_{u2}} \right) = 34 - 12 \left(\frac{393.4}{499.64} \right) = 24.55$$

$$k l_u / r = 46.402 > 34 - 12 \left(\frac{M_{u1}}{M_{u2}} \right) = 24.55$$

maka termasuk kolom panjang sehingga harus dilakukan perhitungan pembesaran momen.

ket : I_k = momen inersia penampanh kolom

I_b = momen inersia penampanh balok

untuk kolom

$$I_g = \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 600 \times 600^3$$

$$= 10800000000.0 \text{ mm}^4$$

$$= 1.08 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$d = \frac{\text{Momen beban mati rencana}}{\text{Momen total Rencana}}$$

ket :

Momen beban mati rencana = 14.762 kNm (staad pro beban mati)

Momen total Rencana = 393.43 kNm (staad pro Kom. DI +LL + E)

$$d = \frac{14.76}{393.43} = 0.038$$

* modulus elastisitas beton

$$E_c = 4700 \sqrt{30}$$

$$= 25743.0 \text{ Nmm}^2$$

Modulus elastisitas beton

$$EI = \frac{0.4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

$$EI = \frac{0.4 \times 25743 \times 1.08 \times 10^{10}}{(1 + 0.03752)}$$

$$= 107187794719302.0 \text{ Nmm}^2$$

$$= 10.72 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Beban kapasitas kolom atau beban tekuk Euler

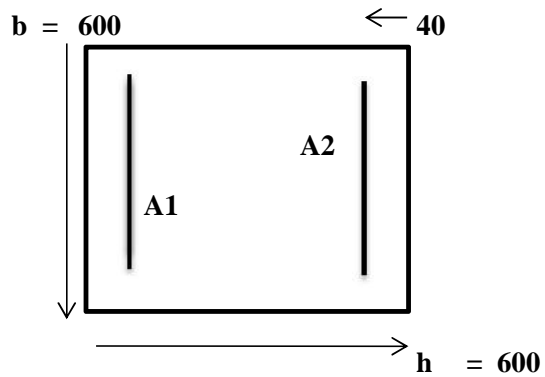
$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI}{(k \times l_u)^2} = \frac{3.14^2 \times 10.7188 \times 10^{13}}{(1.465 \times 5.7 \times 10^{-3})^2} = 4824523.5 \text{ N}$$

perhitungan P_c untuk kolom di tabelkan

5.3.1 Perencanaan Begel Kolom E3

data perencanaan

Tinggi bruto kolom	=	6000	mm
mutu beton	f_c	=	30.0 Mpa
mutu baja (untuk begel)	f_y	=	240 Mpa
gaya geser pada kolom $V_{u,k}$	=	152	KN
gaya aksial pada kolom $N_{u,k}$	=	4470.0	KN



Penyelesaian

$$\begin{aligned}
 d &= h - d_s \\
 &= 600 - 40 \\
 &= 560 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$V_c = \left(1 + \frac{N_{u,k}}{14 \times A_g} \right) \frac{\sqrt{f_c}}{6} \times b \times d$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(1 + \frac{4470.0}{14 \times 600 \times 600} \right) \frac{\sqrt{30}}{6} \times 600 \times 560 \\
 &= 306996.67 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_{u,k} - \phi \times V_c}{\phi} \\
 &= \frac{152.0 - 0.75 \times 306996.67}{0.75} \\
 &= -306794.001 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena $V_s < 0$ maka dipakai begel minimal dengan luasan permeter panjang seperti berikut

$$\begin{aligned}
 A_{v,u} &= \frac{b \times s}{3 \times f_y} = \frac{600 \times 1000}{3 \times 240} \\
 &= 833.3 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{v,u} &= \frac{75 \times \sqrt{f_c} \times b \times s}{1200 \times f_y} = \frac{75 \times \sqrt{30.0} \times 600 \times 1000}{1200 \times 240} \\
 &= 855.8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipilih yang terbesar, jadi $A_{v,u} = 855.816 \text{ mm}^2$

Penentuan daerah penulangan geser

* Direncanakan sengkang ! 12 mm luas penampang sengkang 2 kaki

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi begel, } s &= \frac{n \times 1/4 \times \pi \times d_p^2 \times s}{A_{v,u}} \\
 &= \frac{2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 \times 1000}{855.82} \\
 &= 264.1688 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang l_0 dari muka

hubungan balok- kolom adalah s_o . Spasi s_o tersebut tidak boleh melebihi :

$$s_o < 8 \times 25 = 200 \text{ mm}$$

$$s_o < 24 \times 12 = 288 \text{ mm}$$

$$s_o < 1/2 b = 0.5 \times 600 = 300 \text{ mm}$$

$$s_o < 300 \text{ mm}$$

maka dipakai $s_o = 200 \text{ mm}$

jadi pada kolom di pakai Begel $\emptyset 12 - 200 \text{ mm}$

senggang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0.5 s_o$

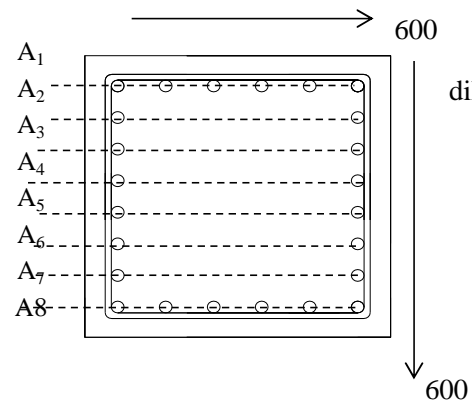
maka hubungan balok kolom :

$$= 0.5 \times 200 = 100 \text{ mm}$$

Spasi senggang ikat pada sebarang penampang kolom tidak boleh melebihi $2.s_o$

$$= 2 \times 200 = 400 \text{ mm}$$

5.3.2 Membuat diagram interaksi kolom



dicobah : 24 D25

diketahui : Tulangan $A_1 = A_5 = 6D25$

Tulangan $A_2 - A_6 = 2 D25$

Mutu bahan $f'_c : 30 \text{ Mpa}$

$f_y : 360 \text{ Mpa}$

penyelesaian

$$f'_c = 30 \text{ Mpa} = 0.03 \text{ kN/mm}^2$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 360 \text{ Mpa} = 0.36 \text{ kN/mm}^2$$

$$= 200 \text{ kN/mm}^2$$

$$\epsilon_y = f_y/E_s$$

$$d = 537.5 \text{ mm}$$

$$= \frac{360}{200000} = 0.0018$$

Luas tulangan

$$A_1 = A_8 = 6 \text{ D } 25$$

$$= 6 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 2943.8 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = A_7 = 2 \text{ D } 25$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 981.3 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 24 \text{ D } 25$$

$$= 24 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 11775.00 \text{ mm}^2$$

a. Tinjauan beban sentris

$$\begin{aligned} P_o &= 0.85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + A_{st} \times f_y \\ &= 0.85 \times 30 \times (600 \times 600 - 11775.00) + 11775.0 \times 360 \\ &= 13118737.50 \text{ N} \gg 13118.74 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot P_o &= 0.65 \times P_o \\ &= 0.65 \times 13118.74 \\ &= 8527.18 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{n,max} &= 0.80 \times P_o \\ &= 0.80 \times 13118.74 \\ &= 10495 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot P_{n,max} &= 0.65 \times P_{n,max} \\ &= 0.65 \times 10494.99 \\ &= 6821.74 \text{ KN} \end{aligned}$$

b. Tinjauan Beton tekan menentukan (terjadi $c > c_b$)

** jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan pada kondisi regangan penampang seimbang (balance),mm

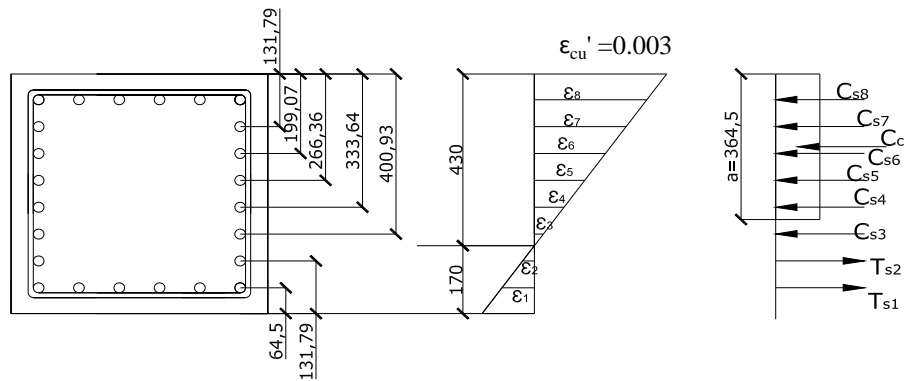
$$c_b = \frac{600 \times d}{600 + f_y} = \frac{600 \times 537.5}{600 + 360} = 335.9 \text{ mm}$$

Diambil $c = 430 (> c_b)$

Tinggi balok tegangan beton tekan ekuivalent, mm

$$a = \beta_1 \times c$$

$$= 0.81 \times 430 = 348.3 \text{ mm}$$



a. Penampang kolom

b. Diagram regangan

c. Diagram tegangan

$$\epsilon_1 = \frac{170 - 64.5}{430} \times 0.003$$

$$= 0.0007 < \epsilon_y = 0.0018$$

sehingga diperoleh $f_1 = \epsilon_1 \times E_s$

$$= 0.0007 \times 200 \text{ KN/mm}^2$$

$$= 0.1472 \text{ kN/mm}^2$$

$$\epsilon_2 = \frac{170 - 131.79}{430} \times 0.003$$

$$= 0.0003 < \epsilon_y = 0.0018$$

sehingga diperoleh $f_2 = \epsilon_2 \times E_s$

$$= 0.0003 \times 200 \text{ KN/mm}^2$$

$$= 0.0533 \text{ kN/mm}^2$$

$$\epsilon_{3'} = \frac{430 - 400.93}{430} \times 0.003$$

$$= 0.0002 < \epsilon_y = 0.0018$$

$$\text{sehingga diperoleh } f_3 = \epsilon_3' \times E_s$$

$$= 0.0002 \times 200 \text{ KN/mm}^2$$

$$= 0.041 \text{ kN/mm}^2$$

$$\epsilon_4' = \frac{430 - 333.6}{430} \times 0.003$$

$$= 0.0007 < \epsilon_y = 0.0018$$

$$\text{sehingga diperoleh } f_4 = \epsilon_4' \times E_s$$

$$= 0.0007 \times 200 \text{ KN/mm}^2$$

$$= 0.134 \text{ kN/mm}^2$$

$$\epsilon_5' = \frac{430 - 266.36}{430} \times 0.003$$

$$= 0.0011 < \epsilon_y = 0.0018$$

$$\text{sehingga diperoleh } f_5 = \epsilon_5' \times E_s$$

$$= 0.0011 \times 200 \text{ KN/mm}^2$$

$$= 0.228 \text{ kN/mm}^2$$

$$\epsilon_6' = \frac{430 - 199.07}{430} \times 0.003$$

$$= 0.0016 < \epsilon_y = 0.0018$$

$$\text{sehingga diperoleh } f_6 = \epsilon_6' \times E_s$$

$$= 0.0016 \times 200 \text{ KN/mm}^2$$

$$= 0.322 \text{ kN/mm}^2$$

$$\epsilon_7' = \frac{430 - 131.79}{430} \times 0.003$$

$$= 0.0021 > \epsilon_y = 0.0018$$

sehingga diperoleh $f_5 = f_y = 0.36 \text{ kN/mm}^2$

$$\epsilon_8 = \frac{430 - 64.50}{430} \times 0.003$$

$$= 0.0026 > \epsilon_y = 0.0018$$

sehingga diperoleh $f_6 = f_y = 0.36 \text{ kN/mm}^2$

Gaya (KN)		Lengan ke Pusat (m)	Momen (kN-m)
$-T_1 = 2943.75 \times 0.147 = -433.3$	$-Z_1 = (0.6/2 - 0.0645) = -0.24$		102.053
$-T_2 = 981.25 \times 0.053 = -52.32$	$-Z_2 = (0.6/2 - 0.132) = -0.17$		8.800
$C_3 = 981.25 \times 0.041 = 39.802$	$Z_3 = (0.6/2 - 0.401) = -0.10$		-4.017
$C_4 = 981.25 \times 0.134 = 131.935$	$Z_4 = (0.6/2 - 0.334) = -0.03$		-4.438
$C_c = 0.81 \times 0.03 \times 348 \times 600 = 5078.2$	$Z_c = (0.6 - 0.348)/2 = 0.13$		639.093
$C_5 = 981.3 \times 0.228 = 224.05$	$Z_5 = ((0.6/2) - 0.266) = 0.03$		7.537
$C_6 = 981.3 \times 0.322 = 316.19$	$Z_6 = (0.6/2 - 0.199) = 0.10$		31.913
$C_7 = 981.3 \times 0.360 = 353.25$	$Z_7 = ((0.6/2) - 0.132) = 0.17$		59.420
$C_8 = 2943.8 \times 0.360 = 1059.75$	$Z_6 = (0.6/2 - 0.0645) = 0.24$		249.571
jumlah $P_n = 6717.53$		$M_n =$	1089.93

$$\phi \cdot P_n = 0.65 \times 6717.53$$

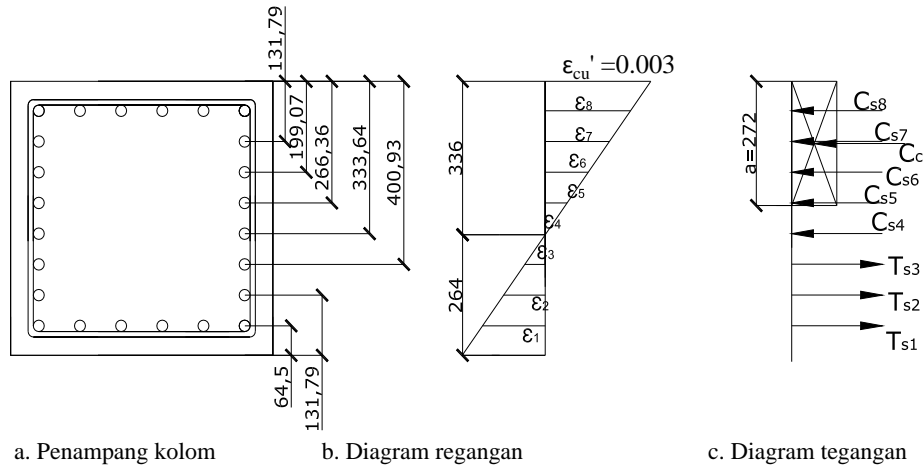
$$= 4366.392 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot M_n = 0.65 \times 1089.93$$

$$= 708.5 \text{ kN-m}$$

c. Tinjauan pada keadaan simbang (terjadi pada nilai $c_b = 336 \text{ mm}$)

$$\begin{aligned} a &= \beta_1 \times c \\ &= 0.81 \times 336 \\ &= 272 \text{ mm} \end{aligned}$$



a. Penampang kolom

b. Diagram regangan

c. Diagram tegangan

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= \frac{264 - 64.5}{336} \times 0.003 \\ &= 0.0018 < \epsilon_y = 0.0018 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{sehingga diperoleh } f_1 &= \epsilon_1 \times E_s \\ &= 0.0018 \times 200 \text{ KN/mm}^2 \\ &= 0.3564 \text{ kN/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_2 &= \frac{264 - 131.79}{336} \times 0.003 \\ &= 0.0012 < \epsilon_y = 0.0018 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{sehingga diperoleh } f_2 &= \epsilon_2 \times E_s \\ &= 0.0012 \times 200 \text{ KN/mm}^2 \\ &= 0.2362 \text{ kN/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\epsilon_3' = \frac{264 - 199.07}{336} \times 0.003$$

$$= 0.0006 < \epsilon_y = 0.0018$$

$$\text{sehingga diperoleh } f_3 = \epsilon_3' \times E_s$$

$$= 0.0006 \times 200 \text{ KN/mm}^2$$

$$= 0.116 \text{ kN/mm}^2$$

$$\epsilon_4' = \frac{336 - 333.6}{336} \times 0.003$$

$$= 0.0000 < \epsilon_y = 0.0018$$

$$\text{sehingga diperoleh } f_4 = \epsilon_4' \times E_s$$

$$= 0.0000 \times 200 \text{ KN/mm}^2$$

$$= 0.004 \text{ kN/mm}^2$$

$$\epsilon_5' = \frac{336 - 266.36}{336} \times 0.003$$

$$= 0.0006 < \epsilon_y = 0.0018$$

$$\text{sehingga diperoleh } f_5 = \epsilon_5' \times E_s$$

$$= 0.0006 \times 200 \text{ KN/mm}^2$$

$$= 0.124 \text{ KN/mm}^2$$

$$\epsilon_6' = \frac{336 - 199.07}{336} \times 0.003$$

$$= 0.0012 < \epsilon_y = 0.0018$$

$$\text{sehingga diperoleh } f_6 = \epsilon_6' \times E_s$$

$$= 0.0012 \times 200 \text{ KN/mm}^2$$

$$= 0.244 \text{ kN/mm}^2$$

$$\epsilon_7 = \frac{336 - 131.79}{336} \times 0.003$$

$$= 0.0018 > \epsilon_y = 0.0018$$

sehingga diperoleh $f_5 = f_y = 0.36 \text{ kN/mm}^2$

$$\epsilon_8 = \frac{336 - 64.50}{336} \times 0.003$$

$$= 0.0024 > \epsilon_y = 0.0018$$

sehingga diperoleh $f_6 = f_y = 0.36 \text{ kN/mm}^2$

Gaya (KN)		Lengan ke Pusat (m)	Momen (kN-m)
$-T_1 = 2943.75 \times 0.356 = -1049.2$		$-Z_1 = (0.6/2 - 0.0645) = -0.24$	247.095
$-T_2 = 981.25 \times 0.236 = -231.82$		$-Z_2 = (0.6/2 - 0.132) = -0.17$	38.994
$-T_3 = 981.25 \times 0.116 = -113.90$		$-Z_3 = (0.6/2 - 0.199) = -0.10$	11.496
$C_4 = 981.25 \times 0.004 = 4.027$		$Z_4 = (0.6/2 - 0.334) = -0.03$	-0.135
$C_5 = 981.3 \times 0.124 = 121.94$		$Z_5 = (0.6/2 - 0.266) = 0.03$	4.102
$C_c = 0.81 \times 0.03 \times 272 \times 600 = 3967.4$		$Z_c = (0.6 - 0.272)/2 = 0.16$	650.43
$C_6 = 981.3 \times 0.244 = 239.87$		$Z_6 = (0.6/2 - 0.191) = 0.10$	24.210
$C_7 = 981.3 \times 0.360 = 353.25$		$Z_7 = (0.6/2 - 0.132) = 0.17$	59.420
$C_8 = 2943.8 \times 0.360 = 1059.75$		$Z_8 = (0.6/2 - 0.0645) = 0.24$	249.571
jumlah $P_n = 4351.24$		$M_n = 1285.18$	

$$\phi \cdot P_{n,b} = 0.65 \times 4351.24$$

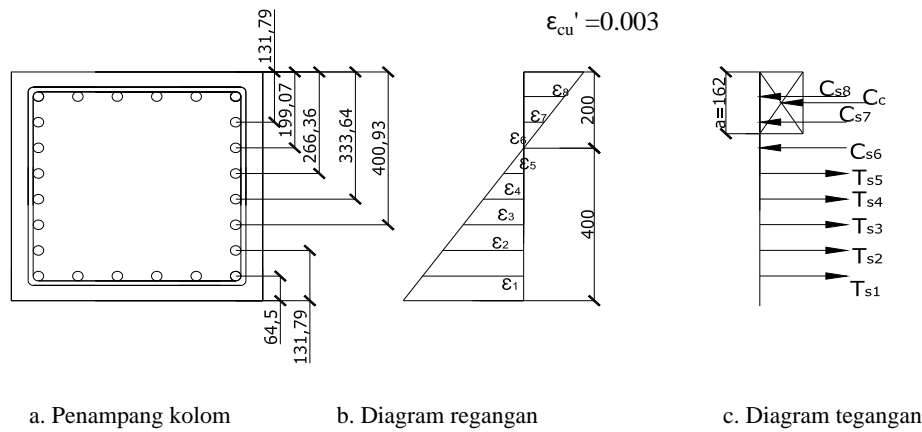
$$= 2828.30 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot M_{n,b} = 0.65 \times 1285.18$$

$$= 835.368 \text{ kN-m}$$

d. Keadaan tulangan tarik menentukan (terjadi $c < d$ diambil $c = 200 \text{ mm}$)

$$\begin{aligned} a &= \beta_1 \times c \\ &= 0.81 \times 200.0 \\ &= 162 \text{ mm} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= \frac{400 - 64.5}{200} \times 0.003 \\ &= 0.0050 > \epsilon_y = 0.0018 \end{aligned}$$

sehingga diperoleh $f_1 = f_y = 0.36 \text{ kN/mm}^2$

$$\begin{aligned} \epsilon_2 &= \frac{400 - 131.79}{200} \times 0.003 \\ &= 0.0040 > \epsilon_y = 0.0018 \end{aligned}$$

sehingga diperoleh $f_2 = f_y = 0.36 \text{ kN/mm}^2$

$$\begin{aligned} \epsilon_3 &= \frac{400 - 199.07}{200} \times 0.003 \\ &= 0.0030 > \epsilon_y = 0.0018 \end{aligned}$$

sehingga diperoleh $f_3 = f_y = 0.36 \text{ kN/mm}^2$

$$\epsilon_4' = \frac{400 - 266.4}{400} \times 0.003$$

$$= 0.0010 < \epsilon_y = 0.0018$$

$$\text{sehingga diperoleh } f_4 = \epsilon_4' \times E_s$$

$$= 0.0010 \times 200 \text{ KN/mm}^2$$

$$= 0.200 \text{ kN/mm}^2$$

$$\epsilon_5' = \frac{400 - 333.64}{400} \times 0.003$$

$$= 0.0005 < \epsilon_y = 0.0018$$

$$\text{sehingga diperoleh } f_5 = \epsilon_5' \times E_s$$

$$= 0.0005 \times 200 \text{ KN/mm}^2$$

$$= 0.100 \text{ KN/mm}^2$$

$$\epsilon_6' = \frac{200 - 199.07}{200} \times 0.003$$

$$= 0.00001 < \epsilon_y = 0.0018$$

$$\text{sehingga diperoleh } f_6 = \epsilon_6' \times E_s$$

$$= 0.00001 \times 200 \text{ KN/mm}^2$$

$$= 0.003 \text{ kN/mm}^2$$

$$\epsilon_7' = \frac{200 - 131.79}{200} \times 0.003$$

$$= 0.0010 < \epsilon_y = 0.0018$$

$$\text{sehingga diperoleh } f_7 = \epsilon_5' \times E_s$$

$$= 0.0010 \times 200 \text{ KN/mm}^2$$

$$= 0.205 \text{ KN/mm}^2$$

$$\epsilon'_8 = \frac{200 - 64.50}{200} \times 0.003$$

$$= 0.0020 > \epsilon_y = 0.0018$$

sehingga diperoleh $f_8 = f_y = 0.36 \text{ kN/mm}^2$

Gaya (KN)		Lengan ke Pusat (m)	Momen (kN-m)
$-T_1 = 2943.75 \times 0.360 = -1059.8$		$-Z_1 = (0.6/2 - 0.0645) = -0.24$	249.571
$-T_2 = 981.25 \times 0.360 = -353.25$		$-Z_2 = (0.6/2 - 0.132) = -0.17$	59.420
$-T_3 = 981.25 \times 0.360 = -353.25$		$-Z_3 = (0.6/2 - 0.199) = -0.10$	35.654
$-T_4 = 981.25 \times 0.200 = -196.70$		$-Z_4 = (0.6/2 - 0.334) = 0.034$	-6.617
$-T_5 = 981.3 \times 0.100 = -97.67$		$Z_5 = (0.6/2 - 0.334) = -0.03$	3.286
$C_c = 0.81 \times 0.03 \times 162 \times 600 = 2362.0$		$Z_c = (0.6 - 0.62)/2 = 0.22$	517.27
$C_6 = 981.3 \times 0.003 = 2.74$		$Z_6 = (0.6/2 - 0.191) = 0.10$	0.276
$C_7 = 981.3 \times 0.205 = 200.79$		$Z_6 = (0.6/2 - 0.132) = 0.17$	33.775
$C_8 = 2943.8 \times 0.360 = 1059.75$		$Z_6 = (0.6/2 - 0.0645) = 0.24$	249.571
jumlah	$P_n = 1564.616$		$M_n = 1142.21$

$$\phi \cdot P_n = 0.65 \times 1564.62$$

$$= 1017.0 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot M_n = 0.65 \times 1142.21$$

$$= 742.43 \text{ kN-m}$$

Batas struktur boleh dianggap hanya menahan Momen Lentur , pada :

$$P_{u\emptyset} = 0.10 \times f'_c \times b \times h$$

$$= 0.10 \times 30 \times 600 \times 600$$

$$= 1080000 \text{ N} \gg 1080 \text{ kN}$$

$$P_{u\emptyset} = \phi \times P_{n,b}$$

$$= 0.65 \times 2828.3$$

$$= 1838.40 \text{ kN}$$

Dipilih yang kecil, yaitu : $P_{u0} = 1080 \text{ kN}$

e. Tinjauan keadaan beban $P = 0$

pada keadaan ini di hitung seperti balok.

$$d_s = 64.5 \text{ mm}$$

$$d = 537.5 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan Tarik } A_s = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 12 \text{ D } 25 = 5887.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan Tekan } A_s' = A_7 + A_8 = 10 \text{ D } 25 = 4906.25 \text{ mm}^2$$

$$a = (A_s - A_s') \times f_y / (0.85 \times f_c' \times b)$$

$$= \frac{(5887.5 - 4906.25) \times 360}{0.85 \times 30 \times 600} = 23.088 \text{ mm}$$

$$a_{\min, \text{leleh}} = \frac{600 \times \beta_1 \times d_s'}{600 - f_y} = \frac{600 \times 0.81 \times 64.5}{600 - 360} = 130.6 \text{ mm}$$

Karena $a < a_{\min, \text{leleh}}$, maka tulagan tekan belum leleh.

$$P = \frac{600 \times A_s' - A_s' \times f_y}{1.7 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{600 \times 4906.25 - 5887.5 \times 360}{1.7 \times 30 \times 600} = 26.94$$

$$q = \frac{600 \times \beta_1 \times A_s' \times d_s}{0.9 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{600 \times 0.81 \times 4906.25 \times 64.5}{0.9 \times 30 \times 600} = 10052.040$$

$$a = \sqrt{p^2 + q} - p = \sqrt{26.94^2 + 10052.040} - 26.94$$

$$= 76.88 \text{ mm}$$

$$f_2' = 600 \times \left(\frac{a - \beta_1 \times d_s}{a} \right) = 600 \times \left(\frac{76.88 - 0.81 \times 64.5}{76.879} \right) = 192.3 \text{ Mpa}$$

$$M_{nc} = 0.85 \times f_c \times a \times b \times (d - a/2)$$

$$= 0.9 \times 30 \times 76.88 \times 600 \times (538 - 76.9/2)$$

$$= 587018996.34 \text{ Nmm}$$

$$M_{ns} = A_s' \times f_2' \times (d - d_s)$$

$$= 4906.25 \times 192.26 \times (537.50 - 64.5)$$

$$= 446158140.11 \text{ Nmm}$$

$$M_n = M_{nc} + M_{ns}$$

$$= 587018996.34 + 446158140.11$$

$$= 1033177136.45 \text{ Nmm} \gg 1033.18 \text{ kN-m}$$

Nilai kuat rencana

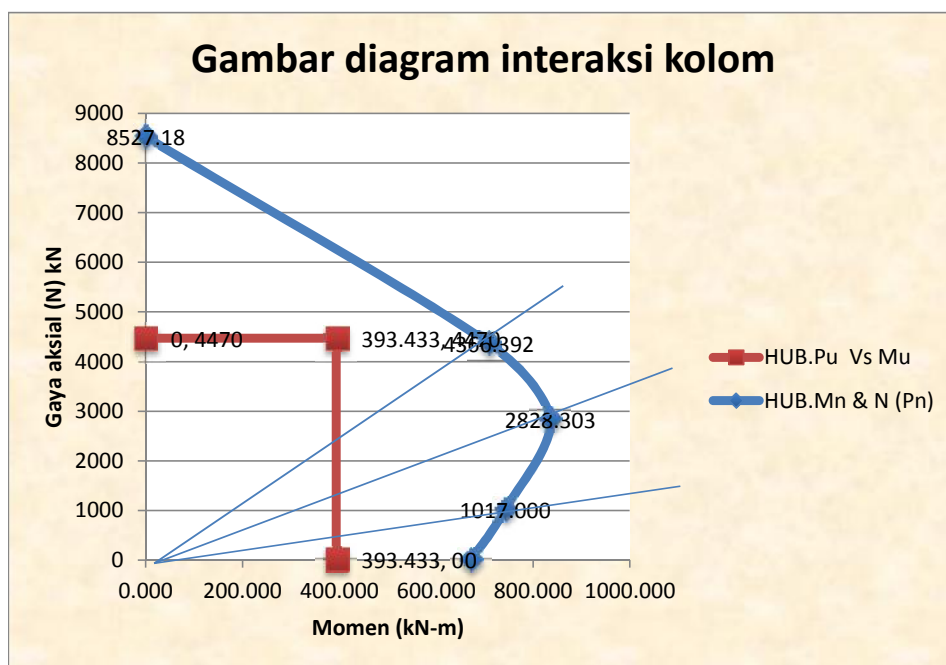
$$\phi = 0.65 \longrightarrow \phi \cdot M_n = 0.65 \times 1033.18 = 671.565 \text{ kN-m}$$

$$\phi = 0.8 \longrightarrow \phi \cdot M_n = 0.80 \times 1033.18 = 826.542 \text{ kN-m}$$

kesimpulan dari perhitungan interaksi kolom

Kondisi	$\phi \cdot P_o$	$\phi \cdot P_{n, \max}$	$\phi \cdot P_n$	$\phi \cdot M_{n,b}$
1. Ditinjau beban sentris	8527.18	6821.74		
2. Tinjauan Beton tekan menentukan (terjadi $c > c_b$)			4366.39	708.456
3. Tinjauan pada keadaan simbang			2828.30	835.37
4. Keadaan tulangan tarik menentukan (terjadi $c < c_b$)			1017.000	742.43

5. Batas struktur boleh dianggap hanya menahan Momen Lentur : P_{u0}	1080.0
6. Beban P_u	4470.0
7. Momen M_u	393.4



gambar diagram interaksi kolom ternyata titik R dengan Momen $M_u = 393.433$ kNm dan $P_u = 4470.0$ kN beradiah di dalam diagram interaksi kuat rencana. jadi kolom tersebut menahan beban yang bekerja padanya.

5.3.3. Sambungan lewatan Tulangan Vertikal Kolom

Sesuai Pasal 14.2(3) Panjang sambungan lewatan tulangan \emptyset 25 dari kolom

tengah harus dihitung dengan rumus

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9 f_y}{10 \sqrt{f_c}} \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\left[\frac{c - k_{tr}}{d_b} \right]}$$

Dimana :

$$= 1$$

$$\beta = 1$$

$$= 1$$

$$\lambda = 1$$

$$c = 40 + 12 + 25/2$$

$$= 64.5 \text{ mm}$$

$$c = \frac{600 - 2(40 + 12) - 25}{5 \times 2}$$

$$= 47.10 \text{ mm}$$

$$K_{tr} = 0$$

$$\frac{c - k_{tr}}{d_b} = \frac{47.10 - 0}{25.0}$$

$$= 1.884$$

$$\frac{l_d}{d_b} = \frac{9 f_y}{10 \sqrt{f_c}} \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\left[\frac{c - k_{tr}}{d_b} \right]}$$

$$= \frac{9 \times 240}{10 \times \sqrt{30}} \times \frac{1 \times 1 \times 1 \times 1}{1.88}$$

$$l_d = 20.9 + 25 = 45.9 \text{ cm} = 459.3 \text{ mm}$$

Sesuai Pasal 23.4(3(2)) sambungan Lewatan harus di letakkan ditengah Panjang

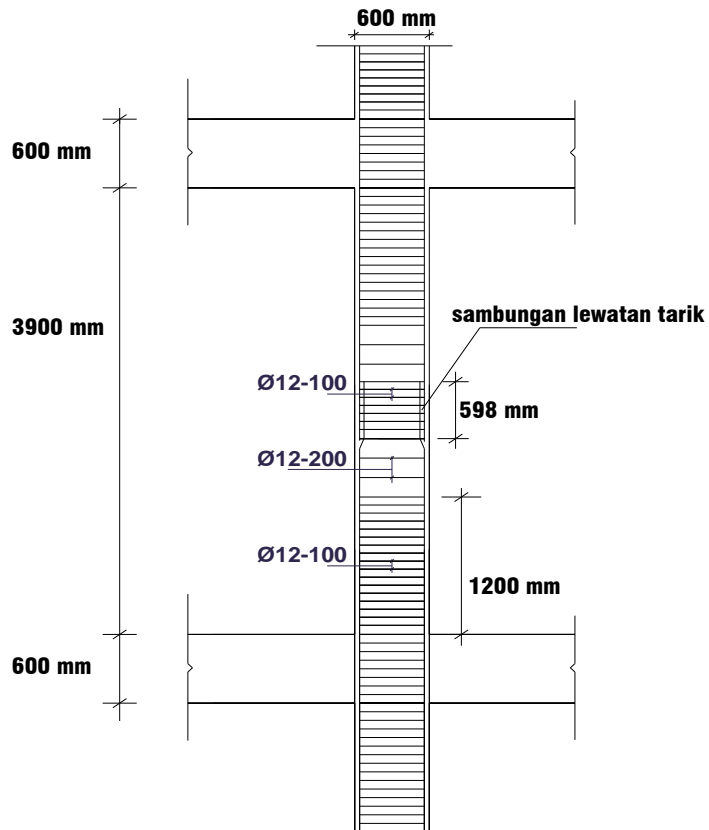
kolom dan harus dihitung sebagai sambungan tarik.

$$f_s > 0.5 \times 360 = 180 \text{ Mpa}$$

Jika $f_s > 0.5 f_y$, maka sambungan lewatan ini termasuk kelas B (pasal 14. 17

(2(3)) yang panjangnya harus $1,3 l_d$

$$1.3 \times 459.3 = 597.1 \text{ mm} = 598 \text{ mm}$$



Gambar 5.3
Detail Penulangan Kolom Tengah 3E

5.4 Perencanaan Balok dan kolom WF

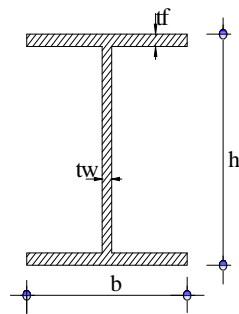
Tabel 5.3 kesimpulan beban aksial dan momen lentur pada kolom 3F antara lantai tingkat ke-5

Jenis Beban	Axial (kN)	Momen (kN m)
Mati (D)	385	- 7.483
		5.8051
Hidup (L)	145	- 2.957
		2.392
Gempa (E)	28.7	- 148.29
		146.904
Kombinasi Beban		
1. 1.4D	439	- 10.476
		8.121
2. 1.2D + 1.6L	593	- 13.711
		10.789
3. 1.2D + 1.0L ± 1.0E	577	- 144.909
		143.763
	535	151.69
		- 150.045
4. 0.9D ± 1.0E	218	146.419
		- 145.149
	275	150.17
		- 148.659

Tabel 5.4 kesimpulan momen lentur untuk desain balok F3 - E3

Jenis Beban	Lokasi	Lantai 5 (kN m)
Mati (D)	Negatif terluar	- 42.31
	Positif	54.111
	Negatif Interior	- 65.154
Hidup (L)	Negatif terluar	- 15.337
	Positif	17.802
	Negatif Interior	- 18.626
Gempa (E)	Negatif terluar	- 35.169
	Negatif Interior	80.221
Kombinasi		
1. 1.4D	Negatif terluar	- 59.234
	Positif	75.755
	Negatif Interior	- 91.216
2. 1.2D + 1.6L	Negatif terluar	- 75.331
	Positif	92.658
	Negatif Interior	- 107.986
3. 1.2D + 1.0L ± 1.0E	Negatif terluar	- 30.904
		101.278
	Positif	79.175
	Negatif Interior	177.032
		16.589
4. 0.9D ± 1.0E	Negatif terluar	2.91
		73.247
	Positif	45.337
	Negatif Interior	- 138.86
		21.583

Data – data profil adalah sebagai berikut



Data profil

$G = 66.0$	kg/m	$Z_x = 1190$	cm ³	$i_x = 16.8$	cm
$A = 84.1$	cm ²	$Z_y = 174$	cm ³	$i_y = 4.54$	cm
$I_x = 23700$	cm ⁴	$B = 200$	mm	$r = 1.6$	cm
$I_y = 1740$	cm ⁴	$h = 400$	mm		
$f_y = 240$	Mpa	$tw = 8$	mm		
$f_u = 370$	Mpa	$tf = 13$	mm		

Persamaan LRFD untuk batang lentur

1. Kontrol dimensi balok pada tengah bentang

$$M_u \max = 1770320.00 \text{ kgcm}$$

$$\phi_b \cdot M_n \geq M_u$$

$$M_n = S_x \cdot f_y$$

$$M_n = \frac{I_x}{C_y} \times f_y$$

C_y = jarak garis netral terhadap serat tertekan pada penampang balok sb y

$$M_n = \frac{23700.00}{20} \times 2400 = 2844000 \text{ kgcm}$$

$$\phi_b \cdot M_n \geq M_u$$

$$0.9 \times 2844000 \geq 1770320 \text{ kgcm}$$

$$2559600 \text{ kgcm} \geq 1770320 \text{ kgcm} \dots\dots\dots \text{Ok}$$

$$\text{Strength Ratio} = \frac{M_u}{\Phi_b \cdot M_n} = \frac{1770320.0}{2559600} = 0.692 < 1 \dots\dots \text{Aman}$$

2. Kontrol Kapasitas Geser Vu

$$V_u = 8120 \text{ kg} \quad \text{hasil staad kombinasi 1.2DL+1LL -1EQ}$$

$$k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad (\text{karena tidak ada pengaku maka } k_n \text{ diasumsikan } n = 5)$$

$$(h/t_w) \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_n E}{f_y}}$$

$$1,1 \sqrt{\frac{K_n E}{f_y}} = 1,1 \times \sqrt{\frac{5 \times 200000}{240}} = 71.005$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{400}{8} = 50$$

$$(h/t_w) \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_n E}{f_y}} \dots\dots\dots \text{Ok}$$

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w ((h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r) \cdot t_w)$$

$$= 0,6 \times 2400 \times 84,1 \times ((40 - 2 \times 1,3 - 2 \times 1,6) \times 0,8)$$

$$= 3313405,44 \text{ kg}$$

$$V_u = 8120 \text{ kg} < \Phi V_n = 0,9 \times 3313405,44 = 2982064,9 \text{ kg}$$

$$V_u < \Phi V_n \dots\dots\dots \text{Ok}$$

3. Kontrol Kekompakan Penampakan < p

** untuk Sayap

$$\frac{b}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{200}{2 \times 13} \leq \frac{170}{\sqrt{240}}$$

$$7.692 \leq 10.973 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

** untuk Badan

$$\frac{h}{t} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{400}{8} \leq \frac{1680}{\sqrt{240}}$$

$$50 \leq 108.44 \dots\dots \text{Ok}$$

4. Cek rasio kerampingan

$$\frac{L}{r} \leq 300$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} = \sqrt{\frac{23700}{84.1}} = 16.79 \text{ cm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} = \sqrt{\frac{1740}{84.1}} = 4.549 \text{ cm}$$

$$\text{diambil } r = r_y = 4.549 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{r} \leq 300$$

$$\frac{600}{4.549} \leq 300$$

$$131.9 \leq 300 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

5. Kontrol Terhadap Lendutan

$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{600}{360} = 1.67 \text{ (lampiran staad pro lendutan balok WF 400 x 200x8 x13).}$$

4 KOMBINAS	-0.754	-14.939	-2.917	15.240	0.001	0.000	-0.000
------------	--------	---------	--------	--------	-------	-------	--------

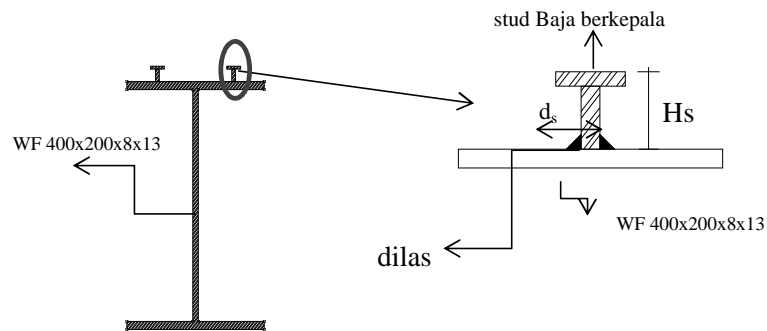
$$f_{\text{terjadi}} = 1.494 \text{ cm} < f_{\text{ijin}} = 1.667 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{Ok}$$

Kesimpulan : Penampang WF 400 x 200 x 8 x 13 aman, digunakan sebagai elemen struktur balok portal

5.5 Perencanaan Shear Connector

Direncanakan Shear Connector pada Balok WF 400 X 200 X 8 X 13 dengan

$$L = 600 \text{ cm}$$



Gambar 5.4. contoh letak shear connector

Letak shear connector (stud) dan rencana sambungan shear connector

Dipakai penghubung geser (shear connector) stud baja berkepala dengan

diameter (d_s) $\frac{5}{8}$ " dan tinggi H_s 2.5' dilaskan pada flens

$$d_s = \frac{5}{8} \text{ " x } 25.5 = 15.94 \text{ mm}$$

$$H_s = 2.5 \text{ " x } 25.5 = 63.75 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} E_c &= 0.041 \times W^{1.5} \times \sqrt{f'_c} \\ &= 0.041 \times 2400^1 \times \sqrt{30} \\ &= 26403.491 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

5 Kuat nominal satu penghubung geser jenis stud

$$\begin{aligned}
 Q_n &= 0,5 \cdot A_s \cdot \sqrt{f'_c \cdot E_c} \\
 &= 0,5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 15,938^2 \times \sqrt{30 \times 26403,491} \\
 &= 88730,18 \text{ N} = 8873,01789 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

6. Kuat geser horizontal nominal

$$\begin{aligned}
 V_{nb} = C_{maks} &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d \\
 &= 0,85 \times 300 \times 150 \times 12 \\
 &= 459000 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{nb} = T_{maks} &= A_s \cdot f_y \\
 &= 84,1 \times 240 = 20184,0 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dari dua nilai diatas, diambil nilai yang terbesar, yaitu $V_{nb} = T_{maks} =$

459000,0 kg karena balok terjadi perilaku aksi penuh, dan jumlah

penghubung geser yang diperlukan adalah antara titik momen nol dan momen maksimum

7. Jumlah total penghubung geser yang dibutuhkan

$$N = \frac{T_{maks}}{Q_n} = \frac{459000,0}{8873,02} = 51,73 = 52 \text{ buah}$$

Penghubung geser dipasang 1 baris, digunakan minimum 52 stud untuk 1

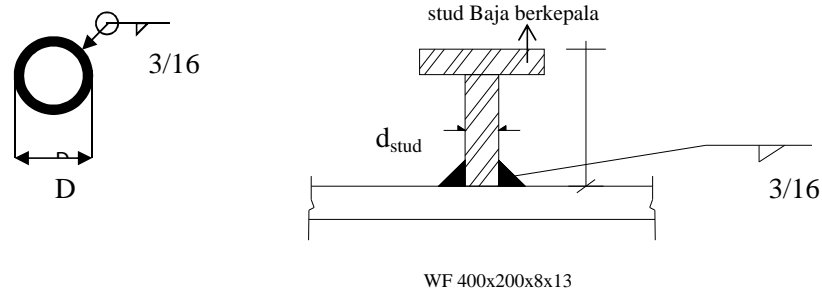
bentang balok atau 52 buah buah untuk keseluruhan bentang. Jika satu buah

stud dipasang tiap penampang melintang, jarak antar stud adalah :

8. Jarak antar penghubung geser (r)

$$r = \frac{L}{N/2} = \frac{600}{52/2} = 23,08 \approx 23,00 \text{ cm}$$

9. Perhitungan las sudut pada shear connector (stud)



Gambar 5.5. Rencana sambungan las pada shear connector

$$\frac{3}{16}'' = 4.763 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} D &= d_{\text{stud}} + (2 \cdot 4.763) \\ &= 15.94 + (2 \times 4.763) \\ &= 25.46 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang keliling las} = \pi \cdot D = \pi \times 25.46 = 79.95 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas las} = F_{\text{las}} &= 79.95 \times 4.763 \\ &= 380.77 \text{ mm}^2 = 3.81 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Kekuatan geser las } f = \frac{Qn}{F_{\text{las}}} = \frac{8873.0}{3.81} = 2330.27 \text{ kg/cm}^2$$

Kekuatan geser nominal las (f_w)

$$f_w = 0.75 (0.6 \cdot F_{\text{Exx}})$$

Digunakan elektoda 80 ksi dengan tebal las 10 mm = 1 cm

$$F_{\text{Exx}} = 80 \times 6.895 = 551.6 \text{ Mpa} = 5516 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} F_w &= 0.75 \times 1 (0.6 \times 5516) \\ &= 2482.2 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Control : } f \leq f_w$$

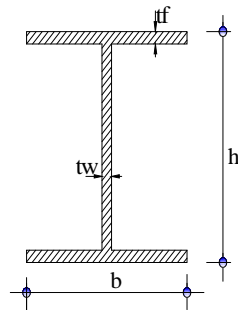
$$2330.26697 \text{ kg/cm}^2 \leq 2482.2 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{Aman}$$

5.6 Perencanaan Kolom F3

Tinggi kolom = 3.5 m

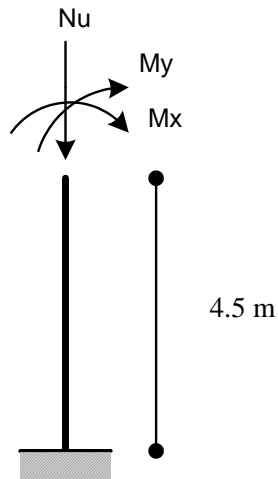
BJ 37, $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$

Dipakai profil 400 x 200 x 8 x 13



Data profil

$G = 66.0 \text{ kg/m}$	$Z_x = 1190 \text{ cm}^3$	$i_x = 16.8 \text{ cm}$
$A_g = 84.1 \text{ cm}^2$	$Z_y = 174 \text{ cm}^3$	$i_y = 4.54 \text{ cm}$
$I_x = 23700 \text{ cm}^4$	$b = 200 \text{ mm}$	$r = 1.6 \text{ cm}$
$I_y = 1740 \text{ cm}^4$	$h = 400 \text{ mm}$	
$f_y = 240 \text{ Mpa}$	$t_w = 8 \text{ mm}$	
$f_u = 370 \text{ Mpa}$	$t_f = 13 \text{ mm}$	
$M_{ux} = 151.69 \text{ kNm}$	$= 1516900 \text{ kgcm}$	
$M_{uy} = 22.85 \text{ kNm}$	$= 228500 \text{ kgcm}$	
$N_u = 59300 \text{ kg}$		



a. Kontrol Terhadap Kompak

$$\lambda \leq \lambda_p$$

** untuk Sayap

$$\frac{b}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{200}{2 \times 13} \leq \frac{170}{\sqrt{240}}$$

$$7.692 \leq 10.97$$

Ok

** untuk Badan

$$\frac{h}{t} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{400}{8} \leq \frac{1680}{\sqrt{240}}$$

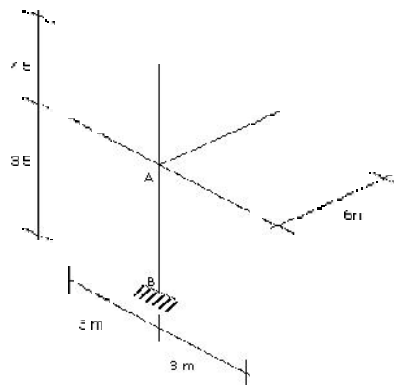
$$50 \leq 108.44$$

Ok

b. Panjang Tekuk Batang

Parameter kelangsingan

$$G = \frac{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_{\text{kolom}}}{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_{\text{balok}}}$$



$$G_A = \frac{\frac{23700}{350} + \frac{23700}{4500}}{\frac{6320}{90} + \frac{23700}{600}}$$

$$= 0.67$$

$$G_B = 1 \text{ (untuk tumpuan jepit -jepit)}$$

Dari nomogram portal bergoyang, didapat nilai :

$$K_{cx} = 1.25 \text{ menentukan}$$

1) Menentukan Rasio Kelangsingan

$$\text{Panjang tekuk} = Lk = Kc \times L$$

$$= 1.25 \times 350 = 437.50 \text{ cm}$$

$$\frac{Lk}{ix} = \frac{437.50}{16.8} = 26.042$$

$$\frac{Lk}{iy} = \frac{437.50}{4.54} = 96.366$$

Dari rasio kelangsingan didapat tekuk terjadi pada arah sumbu y (= sumbu

$$\text{lemah) karena } \frac{Lk}{iy} > \frac{Lk}{ix}$$

2) Menentukan }c

$$\}c = \frac{1}{f} \cdot \frac{Lk}{iy} \cdot \sqrt{\frac{Fy}{E}}$$

$$= \frac{1}{\pi} \times 96.37 \times \sqrt{\frac{2400}{2 \times 10^6}} = 1.0631$$

3. Menentukan daya dukung nominal tahanan

Cek perbandingan lebar terhadap tebal penampang lebih (kelangsingan pelat) kecil dari λ_r

$$\lambda_f = \frac{b}{t} = \frac{200}{2 \times 8} = 12.500$$

$$\lambda_r = \frac{250}{\sqrt{F_y}} = \frac{250}{\sqrt{240}} = 16.137$$

$$\lambda_r < \lambda_f \quad \dots\dots\dots \text{Ok}$$

Jadi tidak terjadi tekuk lokal, rumus $N_n = A_g \cdot F_{cr} = A_g \cdot F_{cr} = A_g \cdot \frac{F_y}{S}$ dapat digunakan $0,25 < \lambda_c < 1.2$

$$S = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c}$$

Daya dukung nominal :

$$N_n = A_g \cdot \frac{F_y}{S}$$

$$S = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \times 1.06} = 1.61$$

$$N_n = 84.1 \times \frac{2400}{1.61} = 125297.2 \text{ kg}$$

$$N_u \leq \phi N_n$$

$$N_u < 0.85 \times 125297.21$$

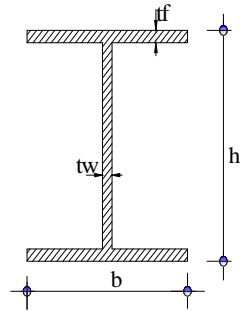
$$59300 \text{ kg} < 106502.629 \text{ kg} \quad \dots\dots\dots \text{Ok}$$

Jadi profil WF 400 x 200 x 8 x 13 memenuhi persyaratan dan dapat menahan gaya tekan.

5.7 Perhitungan Sambungan

5.7.1 Sambungan Balok – Kolom (Joint 2441 beam 10977)

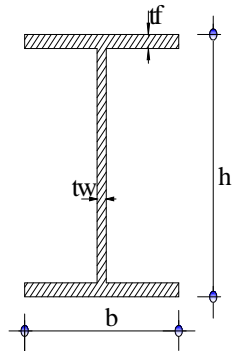
A. Balok WF 400x200x8x13 (Balok 10977)



Data profil

$G = 66.0$ kg/m	$Z_x = 1190$ cm ³	$i_x = 16.8$ cm
$A = 84.1$ cm ²	$Z_y = 174$ cm ³	$i_y = 4.54$ cm
$I_x = 23700$ cm ⁴	$b = 200$ mm	$r = 1.6$ cm
$I_y = 1740$ cm ⁴	$h = 400$ mm	
$f_y = 240$ Mpa	$t_w = 8$ mm	
$f_u = 370$ Mpa	$t_f = 13$ mm	

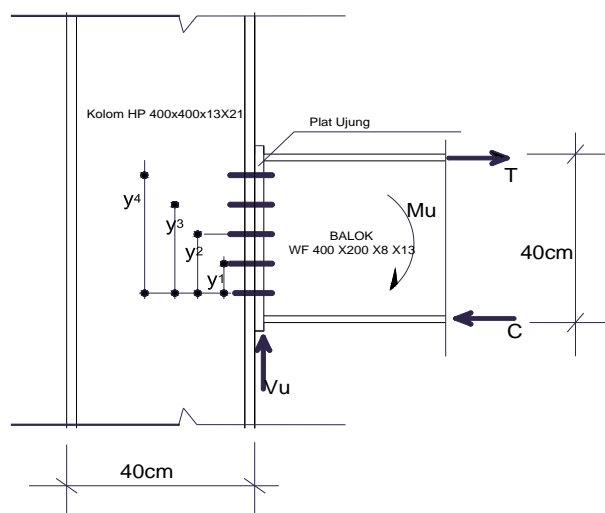
B. WP Kolom 400x 400x13x21 (Kolom 10966) 3E



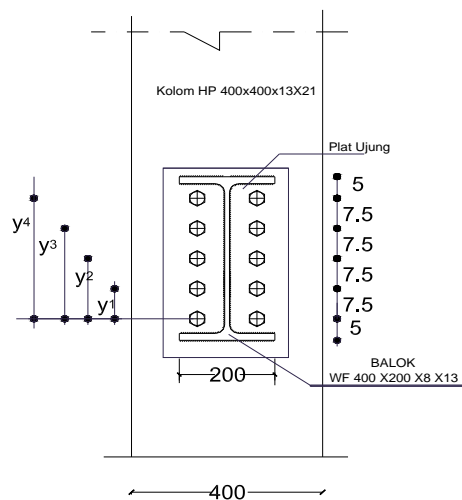
Data profil

$G = 172.0$ kg/m	$Z_x = 3330$ cm ³	$i_x = 17.5$ cm
$A = 218.7$ cm ²	$Z_y = 1120$ cm ³	$i_y = 10.1$ cm

$$\begin{aligned}
 I_x &= 66600 \text{ cm}^4 & b &= 400 \text{ mm} & r &= 2.2 \text{ cm} \\
 I_y &= 22400 \text{ cm}^4 & h &= 400 \text{ mm} \\
 f_y &= 240 \text{ Mpa} & t_w &= 8 \text{ mm} \\
 f_u &= 370 \text{ Mpa} & t_f &= 13 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



GAMBAR. 5.6 SAMBUNGAN KOLOM-BALOK MEMANJANG TAMPAK DEPANG



GAMBAR. 5.7 SAMBUNGAN KOLOM-BALOK MEMANJANG TAMPAK SAMPING

** Jarak tepi baut

$$\begin{aligned}
 &= 1.5d - 3d = 1.50 \times 19.1 - 3 \times 19.1 \\
 &= 28.65 - 57.3 \text{ mm} \quad \text{diambil } L = 5 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

**** Jarak antar baut**

$$= 3d - 7d = 3.00 \times 19.1 - 7 \times 19.1$$

$$= 57.3 - 133.7 \text{ mm} \quad \text{diambil } L = 7.5 \text{ cm}$$

$$M_u = 177.032 \text{ kNm} = 1770320 \text{ Kgcm}$$

$$V_u = 12100 \text{ kg} \quad \text{gaya geser pada kombinasi (1.2DL + 1 LL + 1EQ)}$$

$$R_u = 12100 \text{ kg}$$

1. Perhitungan Kekuatan Baut

$$\sum y^2 = 2(y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + y_4^2)$$

$$= 2 \times (7.5^2 + 15^2 + 22.5^2 + 30^2) = 3375.0 \text{ cm}$$

Kekuatan max pada satu baut

$$T_u = \frac{M_u \cdot y_4}{\sum y^2}$$

$$= \frac{1770320 \times 30}{3375.0} = 15736.18$$

$$\text{Dipakai baut A325 } W 3/4'' = 1.91 \text{ cm} \quad \text{dengan } F_{T\text{baut}} = 120 \text{ ksi}$$

$$= 8250 \text{ kg/cm}^2$$

Kekuatan tarik pada satu baut :

$$F_t = \frac{T}{A_{\text{baut}}} = \frac{T}{1/4 \cdot f \cdot d^2} = \frac{15736.1778}{1/4 \times \pi \cdot d^2} = 5494.94 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 5494.94 \text{ kg/cm}^2 < F_{T\text{baut}} = 120 \text{ ksi} = 8250 \text{ kg/cm}^2 \dots \dots \text{Ok}$$

Gaya geser yang dipikul 1 baut:

$$F_v = \frac{V}{A \cdot n} = \frac{V}{1/4 \cdot f \cdot d^2 \cdot n}$$

$$= \frac{12100}{1/4 \times \pi d^2} = 4225.217 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 4225.22 \text{ kg/cm}^2 < F_{Tbaut} = 120 \text{ ksi} = 8250 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{Ok}$$

Kekuatan Tumpu

$$\begin{aligned} R_{nt} &= 0,75 \times f_u^b \times A_b \\ &= 0.75 \times 8250 \times 2.8638 \\ &= 17719.51 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{nv} &= m \times 0,5 \times f_u^b \times A_b \\ &= 10 \times 0.5 \times 8250 \times 2.864 \\ &= 118130.04 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\left[\frac{R_{ut}}{\phi_t \times R_{nt}} \right]^2 + \left[\frac{R_{ut}}{\phi_t \times R_{nv}} \right]^2 \leq 1$$

$$\left[\frac{12100}{0.75 \times 17719.51} \right]^2 + \left[\frac{12100}{0.75 \times 118130.04} \right]^2 \leq 1$$

$$0.85 \leq 1 \quad \text{Ok}$$

Kekautan ideal yang dipikul oleh baut adalah :

$$\begin{aligned} F_R &= \sqrt{F_T^2 + F_V^2} \\ &= \sqrt{5494.94^2 + 4225.217^2} \\ &= 6932 \text{ kg/cm}^2 < F_{Tbaut} = 120 \text{ ksi} = 8250 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{Ok} \end{aligned}$$

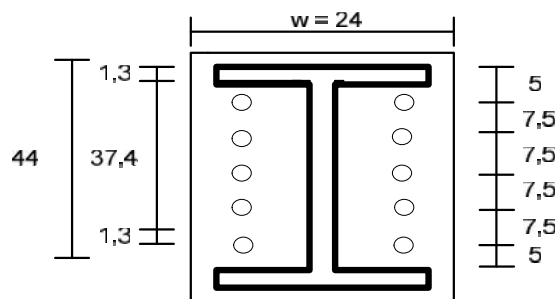
2. Perencanaan Pelat Ujung

a. Perhitungan tebal pelat ujung

Gaya tarik las sepanjang satu flens:

$$T_{maks} = W \times F_y \times t_f \times \left(\frac{b}{3} \right)$$

$$= 0.9 \times 2400 \times 1.3 \times (20 / 3) = 18720.00 \text{ kg}$$



Jarak bebas pemasangan (*assembling – clearence*) minimum untuk

baut diameter 1" diberikan oleh LRFD sebesar 1 5/8 inch = 4.128 cm

$$\text{Jarak } s = 4.128 + 1.3$$

$$= 5.428 \text{ cm}$$

Dicoba pelat dengan (w) = 24 cm dan panjang 44 cm.

Tebal pelat yang diperlukan dengan prying action Q ditetapkan sama dengan nol.

Jarak b' akan menjadi

$$b' = s - \frac{1}{2} \cdot d_b$$

$$= 5.4275 + 0.5 \times 1.91 = 6.3825$$

$$t_p = \sqrt{\frac{4.44 \cdot T \cdot b'}{w \cdot F_y \cdot (1 + r_u)}}$$

$$= \sqrt{\frac{4.44 \times 18720.0 \times 6.383}{24 \times 2400 \times (1 + 0)}}$$

$$= 3.035 \approx 3.500 \text{ cm}$$

Jadi tebal pelat ujung = 3.50 cm

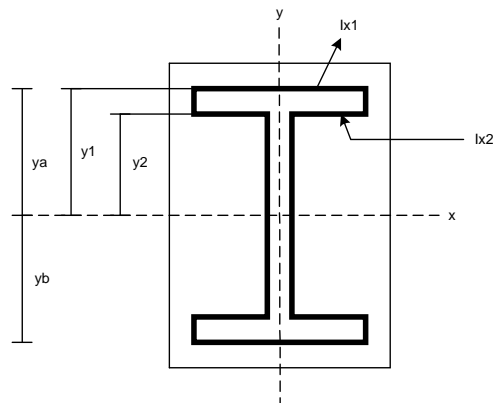
b. Perencanaan las pada sambungan pelat ujung

Tebal las (a) = $\frac{1}{2} \cdot t_p \cdot \sqrt{2}$

$$= 0.5 \times 3.5 \times \sqrt{2} = 2.4749$$

Direncanakan ukuran nominal las = 2 cm

Las plat ujung dan balok dipakai las E70 (Elektroda 70)



$$y_1 = \frac{d}{2} + \frac{1}{3} \cdot a$$

$$= \frac{400}{2} + \frac{1}{3} \times 20 = 206.67 \text{ mm} = 20.667 \text{ cm}$$

$$y_2 = \frac{d - 2t_f}{2} - \frac{1}{3} \cdot a$$

$$= \frac{400 - 2 \times 13}{2} - \frac{1}{3} \times 20 = 180.33 \text{ mm} = 18.03 \text{ cm}$$

$y_3 = 0$ (titik berat las bagian 3 tepat pada sumbu x)

$$y_4 = d - (1/2 \cdot t_f)$$

$$= 40 - (0.5 \times 1.3) = 39.35 \text{ cm}$$

1) Momen Inersia Las:

$$I_{x_1} = 2[(1/12 \cdot b \cdot a^3) + (b \cdot a \cdot y_1^2)]$$

$$= 2 \times [(1/12 \times 20 \times 20^3) + (20 \times 2 \times 20.67^2)]$$

$$= 34195.56 \text{ cm}^4$$

$$I_{x_2} = 4 \left[\left(\frac{1}{12} \cdot \frac{b-tw}{2} \cdot a^3 \right) + \left(\frac{b-tw}{2} \cdot a \cdot y_2^2 \right) \right]$$

$$= 4 \left(\left(\frac{1}{12} \times \frac{20 - 0.8}{2} \times 20^3 \right) + \left(\frac{20 - 0.8}{2} \times 2 \times 18.0333^2 \right) \right)$$

$$= 25001.05 \text{ cm}^4$$

$$I_x \text{ total} = I_{x_1} + I_{x_2}$$

$$= 34195.56 + 25001.05$$

$$= 59196.60 \text{ cm}^4$$

2) Momen tahanan Las

Serat atas:

$$W_x \text{ atas} : = \frac{I_x}{y_a} = \frac{59196.60}{20} = 2959.83 \text{ cm}^3$$

Serat bawah:

$$W_x \text{ bawah} : = \frac{I_x}{y_b} = \frac{59196.60}{20} = 2959.83 \text{ cm}^3$$

1) Tegangan tarik yang terjadi pada las (ditahan las pada flens balok)

Serat atas:

$$F_t \text{ atas} = \frac{M_u}{W_{xatas}}$$

$$= \frac{1770320.0}{2959.83004} = 598.1154 \text{ kg/cm}^2 < F_t \text{ las} = 1390 \text{ kg/cm}^2$$

Serat bawah:

$$F_t \text{ bawah} = \frac{Mu}{Wxbawah}$$

$$= \frac{1770320.0}{2959.83004} = 598.1154 \text{ kg/cm}^2 < F_t \text{ las} = 1390 \text{ kg/cm}^2$$

4) Tegangan geser yang terjadi pada las (ditahan las pada plat badan balok)

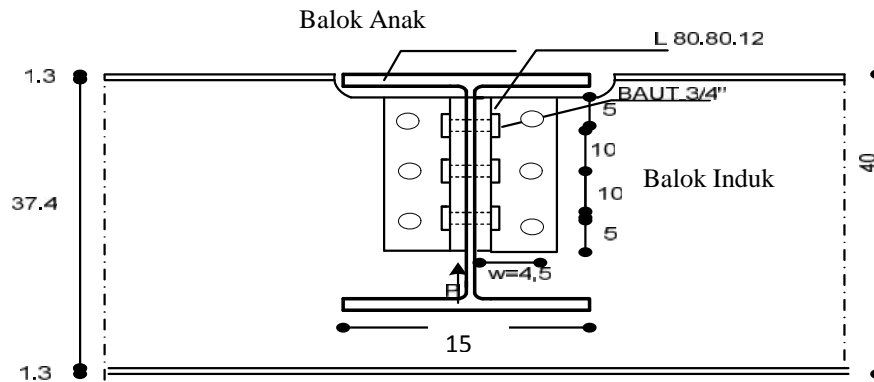
$$\text{Panjang las (L)} = 37.4 \times 2$$

$$= 74.8 \text{ cm}$$

$$\text{Luas (A)} = L \times a = 74.8 \times 2 = 149.6 \text{ cm}^2$$

$$F_v = \frac{V}{A} = \frac{12100.00}{84.1} = 143.876 \text{ kg/cm}^2 < F_t \text{ las} = 1390 \text{ kg/cm}^2$$

5.7.2 Sambungan Balok Induk - Balok Anak



Gambar 5.8 Sambungan Balok Induk – Balok Anak

Data profil

A. Balok WF 400x200x8x13

G = 66.0	kg/m	Zx	= 1190	cm ³	i _x =	16.8	cm
A = 84.1	cm ²	Zy	= 174	cm ³	i _y =	4.54	cm
I _x = 23700	cm ⁴	b	= 200	mm	r =	1.6	cm
I _y = 1740	cm ⁴	tf	= 8	mm			
f _u = 370	Mpa	h	= 400	mm			
f _y = 240	Mpa	tw	= 13	mm			

B. Profil WF Balok Anak 300x150x5.5x8

G = 32	kg/m	Zx = 424	cm ³	i _x = 12.4	cm
A = 40.8	cm ²	Zy = 59.3	cm ³	i _y = 3.29	cm
I _x = 6320	cm ⁴	b = 150	mm	r = 1.3	cm
I _y = 442	cm ⁴	tf = 8	mm		
f _y = 240	Mpa	h = 300	mm		
f _u = 370	Mpa	tw = 5.5	mm		

1. Data Baut

Digunakan baut dengan tipe A325 ($3/4'' = 1.91 \text{ cm}$)

$$A_b = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 1/4 \times 3.14 \times 1.91^2 = 2.8638 \text{ cm}^2$$

2. Jarak Baut

****Jarak tepi baut**

$$\begin{aligned} &= 1.5d - 3d = 1.50 \times 19.1 - 3 \times 19.1 \\ &= 28.65 - 57.3 \text{ mm} \quad \text{diambil } L = 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

****Jarak antar baut**

$$\begin{aligned} &= 3d - 7d = 3.00 \times 19.1 - 7 \times 19.1 \\ &= 57.3 - 133.7 \text{ mm} \quad \text{diambil } L = 9 \text{ cm} \end{aligned}$$

3. Perencanaan Baut

a. Tahanan geser baut dengan dua bidang geser

$$V_d = f \cdot T_n = f \cdot m \cdot r_l \cdot f_u^b \cdot A_b$$

$$\begin{aligned} V_d &= 0.75 \times 2 \times 0.5 \times 8250 \times 2.8638 \\ &= 17719.5 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

b. Tahanan geser baut dengan satu bidang geser

$$V_d = f \cdot T_n = f \cdot m \cdot r_l \cdot f_u^b \cdot A_b$$

$$\begin{aligned} V_d &= 0.75 \times 1 \times 0.5 \times 8250 \times 2.8638 \\ &= 8859.75 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

c. Tahanan tumpu baut pada bagian dari web

$$R_n = 2.4 \cdot f \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u$$

$$\begin{aligned} R_n &= 2.4 \times 0.75 \times 1.91 \times 3.5 \times 370 \\ &= 4452.21 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

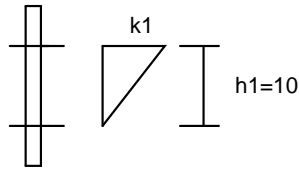
d. Menentukan jumlah baut (n)

$$n = \frac{P}{R_n} = \frac{1960.00}{4452.21} = 0.44 = 2.0 \text{ baut}$$

e. Momen yang terjadi:

$$M = P \cdot w$$

$$= 1960.00 \times 4.5 = 8820.00 \text{ kgcm}$$



$$\sum h^2 = h1^2 = 10^2 = 100 \text{ cm}^2$$

f. Gaya tarik pada baut:

$$T = \frac{M \cdot h1}{\sum h^2} = \frac{8820 \times 10}{100} = 882.00 \text{ kg}$$

g. Gaya geser 1 baut:

$$V = \frac{P}{n} = \frac{1960.00}{4.00} = 490.00 \text{ kg}$$

h. Tegangan tarik maksimum pada baut teratas:

$$F_t = \frac{T}{A_{baut}} = \frac{T}{1/4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

$$= \frac{882.00}{1/4 \times \pi \cdot d^2} = 307.9869 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 307.987 \text{ kg/cm}^2 < F_{Tbaut} = 120 \text{ ksi} = 8250 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

i. Tegangan geser arah flens (Vy):

$$F_v = \frac{V}{A.n} = \frac{V}{1/4 \pi .d^2 .n}$$

$$= \frac{490.00}{1/4 \times \pi d^2} = 171.1038 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 171.104 \text{ kg/cm}^2 < F_{Tbaut} = 120 \text{ ksi} = 8250 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

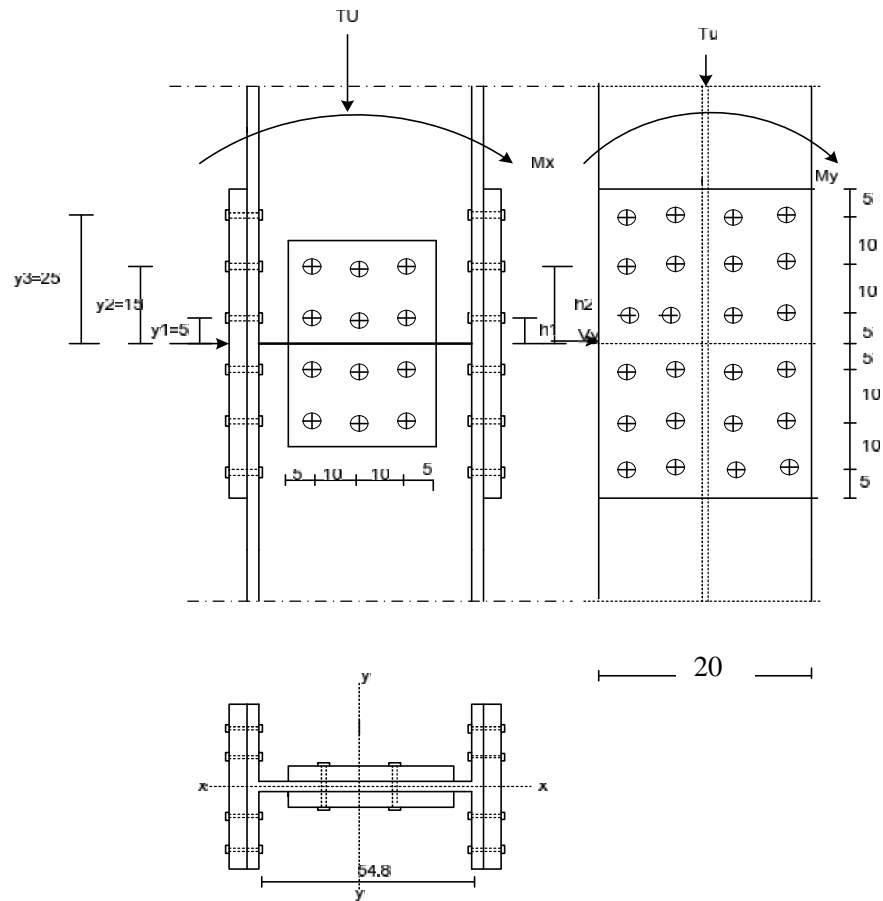
j. Tegangan ideal yang dipikul oleh satu baut adalah:

$$F_R = \sqrt{F_T^2 + F_v^2}$$

$$= \sqrt{307.987^2 + 171.1038^2}$$

$$= 352.32 \text{ kg/cm}^2 < F_{Tbaut} = 120 \text{ ksi} = 8250 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

5.7.3 Sambungan Kolom – Kolom (10998)



Gambar 5.9 Sambungan Kolom-Kolom

Data profil

A. Balok WF 400x200x8x13

$G = 66.0$	kg/m	$Z_x = 1190$	cm ³	$i_x = 16.8$	cm
$A = 84.1$	cm ²	$Z_y = 174$	cm ³	$i_y = 4.54$	cm
$I_x = 23700$	cm ⁴	$b = 200$	mm	$r = 1.6$	cm
$I_y = 1740$	cm ⁴	$t_f = 8$	mm		
$f_y = 240$	Mpa	$h = 400$	mm		
$f_u = 370$	Mpa	$t_w = 13$	mm		
Baut = A325 $\varnothing = \frac{3}{4}$ "					

2. Data statika dari Staad Pro :

$$M_{uA} = 118.53 \text{ kNm}$$

$$M_{uB} = 19.048 \text{ kNm}$$

$$N_u = 51100 \text{ kg}$$

$$V_u = 850.068 \text{ kg}$$

3. Data baut

Digunakan baut dengan tipe A325 (3/4" = 1.91 cm)

$$A_b = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 1/4 \times 3.14 \times 1.91^2 = 2.8638 \text{ cm}^2$$

$$f_u^b = 120 \text{ ksi} = 8250 \text{ kg/cm}^2$$

4. Kekuatan tekan maksimum (Tu)

a. Beban tekan aksial akibat gaya aksial (Nu)

$$\begin{aligned} T_u &= \frac{N_u}{2} \\ &= \frac{51100.00}{2} = 25550 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Beban tekan akibat momen (Mu)

$$T_u = \frac{Mu}{d - 2t_f} = \frac{118530.00}{20 - 2 \times 0.8} = 6441.85 \text{ kg}$$

Beban tekan maksimum total yang diterima oleh satu plat penyambung (Tu maks)

$$= 25550 + 6441.8$$

$$= 31991.85 \text{ kg}$$

5. Perencanaan baut *flens*

Digunakan plat penyambung dengan $f_y = 4100 \text{ kg/cm}^2$ $f_u = 5500 \text{ kg/cm}^2$

$$A_{ns} = \frac{T_u}{w \cdot f_y} = \frac{31991.85}{0.75 \times 4100} = 10.40 \text{ cm}^2$$

a. Menentukan luas pelat

$$A_n = \frac{T_u}{w \cdot f_u} = \frac{31991.85}{0.75 \times 5500} = 7.76 \text{ cm}^2$$

b. Menentukan tebal pelat

Lebar plat (b) = 20 cm

$$t = \frac{A_{ns}}{b} = \frac{10.40}{20} = 0.520 \text{ cm} = 1.5 \text{ cm}$$

c. Kekuatan nominal baut dalam geser tunggal

$$V_d = f \cdot T_n = f \cdot m \cdot r_l \cdot f_u^b \cdot A_b$$

$$\begin{aligned} V_d &= 0.75 \times 1 \times 0.5 \times 8250 \times 2.8638 \\ &= 8859.75 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

d. Kekuatan nominal baut dalam tumpu

$$R_n = 2.4 \cdot f \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u$$

$$\begin{aligned} R_n &= 2.4 \times 0.75 \times 1.91 \times 1.5 \times 5500 \\ &= 28363.50 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

e. Kekuatan nominal baut dalam tarik

$$T_d = f \cdot T_n = f \cdot 0.75 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

$$\begin{aligned} T_d &= 0.75 \times 0.75 \times 8250 \times 2.864 \\ &= 13289.63 \text{ kg} \end{aligned}$$

f. Menentukan jumlah baut yang digunakan (n) akibat V_u

$$n = \frac{Vu}{V_d} = \frac{850.07}{8859.75286} = 0.096 \text{ buah} = 4 \text{ buah (2 baris)}$$

g. Menentukan jumlah baut yang digunakan (n) akibat Tu

$$n = \frac{Tu}{V_d} = \frac{31991.85}{8859.75286} = 3.611 \text{ buah} = 8 \text{ buah}$$

h. Jarak baut vertikal

****Jarak tepi baut**

$$\begin{aligned} &= 1.5d - 3d = 1.50 \times 19.1 - 3 \times 19.1 \\ &= 28.65 - 57.3 \text{ mm diambil } L = 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

****Jarak antar baut**

$$\begin{aligned} &= 3d - 7d = 3.00 \times 19.1 - 7 \times 19.1 \\ &= 57.3 - 133.7 \text{ mm diambil } L = 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

i. Jarak baut horizotal

****Jarak tepi baut**

$$\begin{aligned} &= 1.5d - 3d = 1.50 \times 19.1 - 3 \times 19.1 \\ &= 28.65 - 57.3 \text{ mm diambil } L = 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

****Jarak antar baut**

$$\begin{aligned} &= 3d - 7d = 3.00 \times 19.1 - 7 \times 19.1 \\ &= 57.3 - 133.7 \text{ mm diambil } L = 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

j Perhitungan panjang plat penyambung

$$\begin{aligned} P &= (2.S) + (5.S1) \\ &= 2 \times 5 + 5 \times 10 = 60 \end{aligned}$$

Jadi ukuran plat 60. 20 . 2.3

6. Perencanaan baut – baut badan

$$V_u = 850.07 \text{ kg}$$

a. Menentukan luas pelat leleh

$$A_n = \frac{V_u}{w \cdot f_y} = \frac{850.07}{0.75 \times 4100} = 0.28 \text{ cm}^2$$

b. Menentukan luas pelat patah

$$A_{ns} = \frac{V_u}{w \cdot f_u} = \frac{850.07}{0.9 \times 5500} = 0.17 \text{ cm}^2$$

c. Menentukan tebal pelat

$$\text{Lebar plat (b)} = 20 \text{ cm}$$

$$t = \frac{A_{ns}}{b} = \frac{0.17}{20} = 0.009 \text{ cm} = 1.5 \text{ cm}$$

d. Kekuatan nominal baut dalam geser ganda

$$V_d = f \cdot T_n = f \cdot m \cdot r_l \cdot f_u^b \cdot A_b$$

$$\begin{aligned} V_d &= 0.75 \times 2 \times 0.5 \times 8250 \times 2.8638 \\ &= 17719.5 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

e. Kekuatan nominal baut dalam tumpu

$$R_n = 2.4 \cdot f \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u$$

$$\begin{aligned} R_n &= 2.4 \times 0.75 \times 1.91 \times 1.5 \times 5500 \\ &= 28363.50 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

f. Kekuatan nominal baut dalam tarik

$$T_d = f \cdot T_n = f \cdot 0.75 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

$$\begin{aligned} T_d &= 0.75 \times 0.75 \times 8250 \times 2.864 \\ &= 13289.63 \text{ kg} \end{aligned}$$

g. Menentukan jumlah baut (n)

$$n = \frac{Vu}{V_d} = \frac{850.07}{17719.5057} = 0.048 \text{ buah} = 4 \text{ buah (2 baris)}$$

h. Jarak baut vertikal

****Jarak tepi baut**

$$\begin{aligned} &= 1.5d - 3d = 1.50 \times 19.1 - 3 \times 19.1 \\ &= 28.65 - 57.3 \text{ mm diambil } L = 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

****Jarak antar baut**

$$\begin{aligned} &= 3d - 7d = 3.00 \times 19.1 - 7 \times 19.1 \\ &= 57.3 - 133.7 \text{ mm diambil } L = 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

i. Jarak baut horizotal

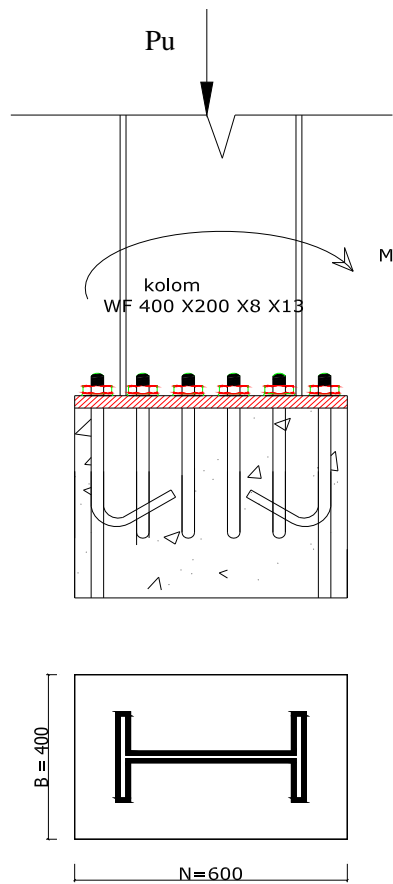
****Jarak tepi baut**

$$\begin{aligned} &= 1.5d - 3d = 1.50 \times 19.1 - 3 \times 19.1 \\ &= 28.65 - 57.3 \text{ mm diambil } L = 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

****Jarak antar baut**

$$\begin{aligned} &= 3d - 7d = 3.00 \times 19.1 - 7 \times 19.1 \\ &= 57.3 - 133.7 \text{ mm diambil } L = 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

5.7.4 Sambungan Kolom – Plat Dasar beam 10965 join 11918



Gambar 5.10 Sambungan Kolom- Plat dasar

1. Data profil

A. Balok WF 400x200x8x13

$G = 66.0$	kg/m	$Z_x = 1190$	cm ³
$A = 84.1$	cm ²	$Z_y = 174$	cm ³
$I_x = 23700$	cm ⁴	$b = 200$	mm
$I_y = 1740$	cm ⁴	$t_f = 8$	mm
$f_y = 240$	Mpa	$h = 400$	mm
$f_u = 370$	Mpa	$t_w = 13$	mm

Baut = A325 $\varnothing = \frac{3}{4}$ "

Data perencanaan

$$P_u = 63500 \text{ kg} \quad M_u = 150.17 \text{ kN m} = 1501700 \text{ kgcm}$$

2. Luas bidang pelat dasar

Luas bidang pelat dasar perlu:

$$P_u \leq \phi_c P_p$$

$$P_u \leq \phi_c (0.85 f'_c A_1)$$

$$63500 \leq 0.6 \times (0.85 \times 350 \times A_1)$$

$$63500 \leq 178.50 A_1$$

$$A_1 = 355.74 \text{ cm}^2$$

Luas pelat dasar harus lebih besar dari luas profil yang dipakai :

$$A_1 = d \cdot b_f$$

$$A_1 = 40 \times 20$$

$$= 800 \text{ cm}^2$$

Dari kedua luasan pelat dasar diatas dipakai yang terbesar, yaitu = 800 cm²

3. Penentuan dimensi pelat dasar

$$\Delta = \frac{0.95d - 0.80b}{2} = \frac{0.95 \times 40 - 0.8 \times 20}{2} = 11 \text{ cm}$$

$$N = \sqrt{A_1} + \Delta$$

$$= \sqrt{800} + 11 = 39.28 \text{ cm} = 60 \text{ cm}$$

$$B = \frac{A_1}{N} = \frac{800.00}{60} = 13 \text{ cm}$$

Maka ukuran dimensi pelat dasar yang dipakai dicoba 40 x 60 cm

4. Tebal pelat dasar

$$m = \frac{N - 0,95.d}{2} = \frac{60 - 0,95 \times 40}{2} = 11,00 \text{ cm}$$

$$n = \frac{B - 0,80.b}{2} = \frac{40 - 0,95 \times 20}{2} = 10,50 \text{ cm}$$

$$W_c . P_p = W_c . (0,85 . f'c . A_1)$$

$$= 0,6 \times (0,85 \times 300 \times 40 \times 60)$$

$$= 367200,0 \text{ kg}$$

$$x = \frac{4.db}{(d+b)^2} \cdot \frac{P_u}{W_c . P_p}$$

$$= \frac{4 \times 40 \times 20}{(40 + 20)^2} \times \frac{63500}{367200,0} = 0,1537$$

$$\beta = \frac{2\sqrt{x}}{1 + \sqrt{1-x}} = \frac{2 \times \sqrt{0,15}}{1 + \sqrt{1-0,164}} = 0,4084$$

$$\beta n' = \frac{\beta \cdot \sqrt{db}}{4}$$

$$= \frac{0,408 \times \sqrt{40 \cdot 20}}{4} = 2,888$$

ℓ adalah nilai tertinggi dari $m, \beta n'$ yaitu 2,8879

$$t = \ell \cdot \sqrt{\frac{2.P_u}{0,9.F_y.B.N}} = 2,888 \times \sqrt{\frac{2.676000}{0,9.2400.40.60}}$$

$$= 0,452 \approx 3 \text{ cm}$$

5. Perhitungan jangkar

$$f = \frac{Pu}{A} \pm \frac{Mu}{W} = \frac{63500}{40 \times 60} \pm \frac{15017000}{1/6 \times 40 \times 60^2}$$

$$f_{\text{maks}} = 89.029 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{\text{min}} = -36.113 \text{ kg/cm}^2$$

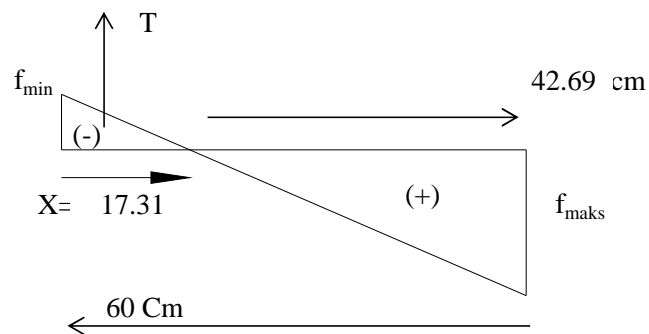
$$\frac{x}{y} = \frac{36.1125}{89.029} = \frac{1}{2.4653}$$

$$y = 2.4653 x$$

$$x + y = x + 2.4653 x$$

$$3.4653 x = 60 \text{ cm}$$

$$x = 17.31 \text{ cm}$$



- Gaya jangkar

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2} \cdot (x \cdot f \cdot B) = 0.5 \times 17.31 \times 36.113 \times 40 \\ &= 12505.31 \text{ kg} \end{aligned}$$

6 Luas penampang baut jangkar

$$A = \frac{T}{w \cdot 0,75 \cdot F_y} = \frac{63500}{0,75 \times 0,75 \times 2400} = 47.04 \text{ cm}^2$$

Dipakai jangkar $\varnothing 1 \frac{1}{4}$ " = 3.18 cm

$$\text{Jumlah jangkar } n = \frac{47.04}{\frac{1}{4} \times \pi d^2} = 5.944055 \approx 6 \text{ buah}$$

maka dipasang pada sisi kiri dan sisi kanan = 12 buah

7 Panjang angker

$$l = \frac{T}{Teg. geser \times 2 \pi D}$$

$$\text{Tegangan geser} = T/A = 26.46 \text{ kg/cm}^2$$

$$= \frac{12505.31}{26.46 \times 2 \times \pi \times D} = 23.692 \text{ cm}$$

Maka dipake Panjang angkur 40 cm

8. Kontrol pemasangan baut

**Jarak tepi baut

$$\begin{aligned} &= 1.5d - 3d = 1.50 \times 19.1 - 3 \times 19.1 \\ &= 28.65 - 57.3 \text{ mm diambil } L = 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

**Jarak antar baut

$$\begin{aligned} &= 3d - 7d = 3.00 \times 19.1 - 7 \times 19.1 \\ &= 57.3 - 133.7 \text{ mm diambil } L = 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

9. Perencanaan las pelat dasar kolom

a. Gaya tarik maksimum

$$T_{\text{maks}} = W \times F_y \times t_f \times \left(\frac{b}{s} \right)$$

$$(3)$$

$$= 0.9 \times 2400 \times 1.3 \times (20 / 3) = 18720.00 \text{ kg}$$

b. Jarak bebas pemasangan (*assembling – clearence*) minimum untuk

baut diameter 1” diberikan oleh LRFD sebesar 1 1/4 inch = 3.175 cm

$$\text{Jarak } s = 3.175 + 1.3$$

$$= 4.475 \text{ cm}$$

Dicoba pelat dengan (w) = 40 cm dan panjang 60 cm.

Tebal pelat yang diperlukan dengan prying action Q ditetapkan sama dengan nol.

Jarak b' akan menjadi

$$b' = s - \frac{1}{2} \cdot db$$

$$= 4.475 + 0.5 \times 3.175 = 6.063 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} t_p &= \sqrt{\frac{4.44 \cdot T \cdot b'}{w \cdot F_y \cdot (1 + r_u)}} \\ &= \sqrt{\frac{4.44 \times 63500.0 \times 6.063}{40 \times 2400 \times (1 + 0)}} \\ &= 4.220 \approx 4.000 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Jadi tebal pelat ujung} = 4.00 \text{ cm}$$

10. Perencanaan las pada sambungan pelat dasar

$$\text{Tebal las} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \sqrt{2} = \frac{1}{2} \times 4 \times \sqrt{2} = 2.83$$

$$\text{Direncanakan ukuran nominal las} = 3 \text{ mm}$$

Tabel 5.5 Ukuran Minimum Las Sudut

Tebal bagian paling tebal t (mm)	Tebal minimum las sudut, tw (mm)
t ≤ 7	3
7 < t ≤ 10	4
10 < t ≤ 15	5
15 < t	6

SNI 03-1729-2002, Hal 184)

Digunakan Las E70 (kuat tarik $F_{exx} = 70 \text{ksi} = 4889,5$)

$$\begin{aligned}
 f R_{nw} &= 0,75 t t \quad (0,6 f_{uw}) \text{ (las)} \\
 &= 0,75 \times 0,6 (0,6 \times 4889,50) \\
 &= 1320,2 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

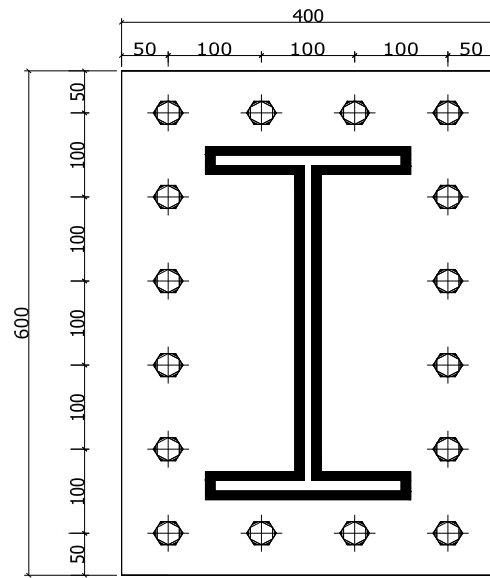
$$\begin{aligned}
 f R_{nw} &= 0,75 t t \quad (0,6 f_u) \text{ (bahan dasar)} \\
 &= 0,75 \times 0,6 (0,6 \times 3700,00) \\
 &= 999,0 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan las (R_{nw})

$$\frac{T_u}{L_w} \leq \phi R_{nw}$$

$$\begin{aligned}
 L_w &= 2.b + 4.tf + 4.(b - tw) = 2 \times 20 + 4 \times 0,8 + (20 - 1,3) \\
 &= 61,90 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{63500}{61,90} = 1026 \leq 1320,2 \text{ kg} \dots\dots\dots \text{Ok}$$



Gambar 5.11 plat dasar kolom tampak atas

5.4 Perencanaan Balok dan kolom WF

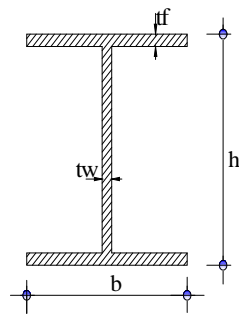
Tabel 5.3 kesimpulan beban aksial dan momen lentur pada kolom 3F antara lantai tingkat ke-5

Jenis Beban	Axial (kN)	Momen (kN m)
Mati (D)	385	- 7.483
		5.8051
Hidup (L)	145	- 2.957
		2.392
Gempa (E)	28.7	- 148.29
		146.904
Kombinasi Beban		
1. 1.4D	439	- 10.476
		8.121
2. 1.2D + 1.6L	593	- 13.711
		10.789
3. 1.2D + 1.0L ± 1.0E	577	- 144.909
		143.763
	535	151.69
		- 150.045
4. 0.9D ± 1.0E	218	146.419
		- 145.149
	275	150.17
		- 148.659

Tabel 5.4 kesimpulan momen lentur untuk desain balok F3 - E3

Jenis Beban	Lokasi	Lantai 5 (kN m)
Mati (D)	Negatif terluar	- 42.31
	Positif	54.111
	Negatif Interior	- 65.154
Hidup (L)	Negatif terluar	- 15.337
	Positif	17.802
	Negatif Interior	- 18.626
Gempa (E)	Negatif terluar	- 35.169
	Negatif Interior	80.221
Kombinasi		
1. 1.4D	Negatif terluar	- 59.234
	Positif	75.755
	Negatif Interior	- 91.216
2. 1.2D + 1.6L	Negatif terluar	- 75.331
	Positif	92.658
	Negatif Interior	- 107.986
3. 1.2D + 1.0L ± 1.0E	Negatif terluar	- 30.904
		101.278
	Positif	79.175
	Negatif Interior	177.032
		16.589
4. 0.9D ± 1.0E	Negatif terluar	2.91
		73.247
	Positif	45.337
	Negatif Interior	- 138.86
		21.583

Data – data profil adalah sebagai berikut



Data profil

$G = 66.0$	kg/m	$Z_x = 1190$	cm^3	$i_x = 16.8$	cm
$A = 84.1$	cm^2	$Z_y = 174$	cm^3	$i_y = 4.54$	cm
$I_x = 23700$	cm^4	$B = 200$	mm	$r = 1.6$	cm
$I_y = 1740$	cm^4	$h = 400$	mm		
$f_y = 240$	Mpa	$t_w = 8$	mm		
$f_u = 370$	Mpa	$t_f = 13$	mm		

Persamaan LRFD untuk batang lentur

1. Kontrol dimensi balok pada tengah bentang

$$M_u \max = 1770320.00 \text{ kgcm}$$

$$\phi_b \cdot M_n \geq M_u$$

$$M_n = S_x \cdot f_y$$

$$M_n = \frac{I_x}{C_y} \times f_y$$

C_y = jarak garis netral terhadap serat tertekan pada penampang balok sb y

$$M_n = \frac{23700.00}{20} \times 2400 = 2844000 \text{ kgcm}$$

$$\phi_b \cdot M_n \geq M_u$$

$$0.9 \times 2844000 \geq 1770320 \text{ kgcm}$$

$$2559600 \text{ kgcm} \geq 1770320 \text{ kgcm} \dots\dots\dots \text{Ok}$$

$$\text{Strength Ratio} = \frac{M_u}{\Phi_b \cdot M_n} = \frac{1770320.0}{2559600} = 0.692 < 1 \dots\dots \text{Aman}$$

2. Kontrol Kapasitas Geser Vu

$$V_u = 8120 \text{ kg} \quad \text{hasil staad kombinasi 1.2DL+1LL -1EQ}$$

$$k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad (\text{karena tidak ada pengaku maka } k_n \text{ diasumsikan } n = 5)$$

$$(h/t_w) \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_n E}{f_y}}$$

$$1,1 \sqrt{\frac{K_n E}{f_y}} = 1,1 \times \sqrt{\frac{5 \times 200000}{240}} = 71.005$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{400}{8} = 50$$

$$(h/t_w) \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_n E}{f_y}} \dots\dots\dots \text{Ok}$$

$$V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w ((h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r) \cdot t_w)$$

$$= 0,6 \times 2400 \times 84,1 \times ((40 - 2 \times 1,3 - 2 \times 1,6) \times 0,8)$$

$$= 3313405,44 \text{ kg}$$

$$V_u = 8120 \text{ kg} < \Phi V_n = 0,9 \times 3313405,44 = 2982064,9 \text{ kg}$$

$$V_u < \Phi V_n \dots\dots\dots \text{Ok}$$

3. Kontrol Kekompakan Penampakan < p

** untuk Sayap

$$\frac{b}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{200}{2 \times 13} \leq \frac{170}{\sqrt{240}}$$

$$7.692 \leq 10.973 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

** untuk Badan

$$\frac{h}{t} \leq \frac{1680}{\sqrt{fy}}$$

$$\frac{400}{8} \leq \frac{1680}{\sqrt{240}}$$

$$50 \leq 108.44 \dots\dots \text{Ok}$$

4. Cek rasio kerampingan

$$\frac{L}{r} \leq 300$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} = \sqrt{\frac{23700}{84.1}} = 16.79 \text{ cm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} = \sqrt{\frac{1740}{84.1}} = 4.549 \text{ cm}$$

$$\text{diambil } r = r_y = 4.549 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{r} \leq 300$$

$$\frac{600}{4.549} \leq 300$$

$$131.9 \leq 300 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

5. Kontrol Terhadap Lendutan

$$f_{ijin} = \frac{L}{360} = \frac{600}{360} = 1.67 \text{ (lampiran staad pro lendutan balok WF 400 x 200x8 x13).}$$

4 KOMBINAS	-0.754	-14.939	-2.917	15.240	0.001	0.000	-0.000
------------	--------	---------	--------	--------	-------	-------	--------

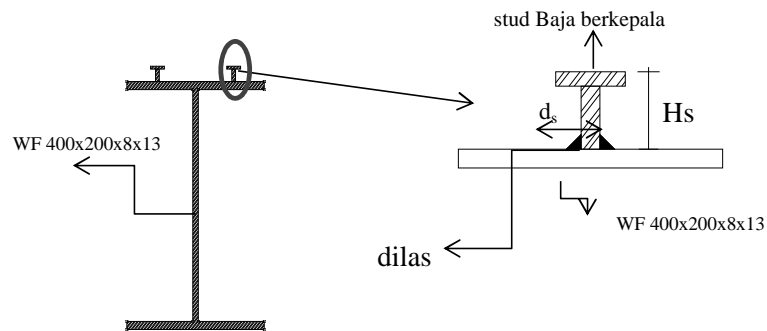
$$f_{terjadi} = 1.494 \text{ cm} < f_{ijin} = 1.667 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{Ok}$$

Kesimpulan : Penampang WF 400 x 200 x 8 x 13 aman, digunakan sebagai elemen struktur balok portal

5.5 Perencanaan Shear Connector

Direncanakan Shear Connector pada Balok WF 400 X 200 X 8 X 13 dengan

$$L = 600 \text{ cm}$$



Gambar 5.4. contoh letak shear connector

Letak shear connector (stud) dan rencana sambungan shear connector
Dipakai penghubung geser (shear connector) stud baja berkepala dengan

diameter (d_s) $\frac{5}{8}$ " dan tinggi H_s 2.5' dilaskan pada flens

$$d_s = \frac{5}{8} \text{ " } \times 25.5 = 15.94 \text{ mm}$$

$$H_s = 2.5 \text{ " } \times 25.5 = 63.75 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} E_c &= 0.041 \times W^{1.5} \times \sqrt{f'_c} \\ &= 0.041 \times 2400^1 \times \sqrt{30} \\ &= 26403.491 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

5 Kuat nominal satu penghubung geser jenis stud

$$\begin{aligned}
 Q_n &= 0,5 \cdot A_s c \sqrt{f'_c \cdot E_c} \\
 &= 0,5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 15,938^2 \times \sqrt{30 \times 26403,491} \\
 &= 88730,18 \text{ N} = 8873,01789 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

6. Kuat geser horizontal nominal

$$\begin{aligned}
 V_{nb} = C_{maks} &= 0,85 \cdot f'_c \cdot b_e \cdot t_s \\
 &= 0,85 \times 300 \times 150 \times 12 \\
 &= 459000 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{nb} = T_{maks} &= A_s \cdot f_y \\
 &= 84,1 \times 240 = 20184,0 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dari dua nilai diatas, diambil nilai yang terbesar, yaitu $V_{nb} = T_{maks} =$

459000,0 kg karena balok terjadi perilaku aksi penuh, dan jumlah

penghubung geser yang diperlukan adalah antara titik momen nol dan momen maksimum

7. Jumlah total penghubung geser yang dibutuhkan

$$N = \frac{T_{maks}}{Q_n} = \frac{459000,0}{8873,02} = 51,73 = 52 \text{ buah}$$

Penghubung geser dipasang 1 baris, digunakan minimum 52 stud untuk 1

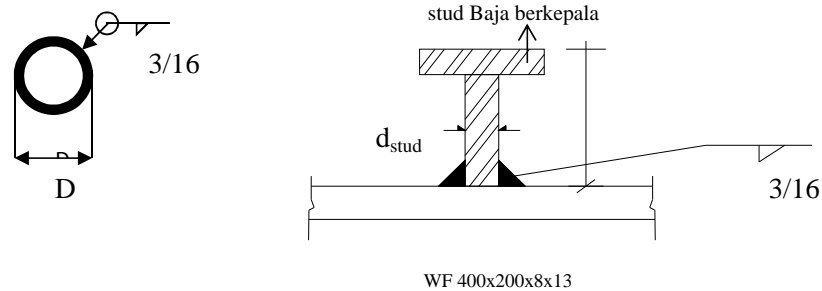
bentang balok atau 52 buah buah untuk keseluruhan bentang. Jika satu buah

stud dipasang tiap penampang melintang, jarak antar stud adalah :

8. Jarak antar penghubung geser (r)

$$r = \frac{L}{N/2} = \frac{600}{52/2} = 23,08 \approx 23,00 \text{ cm}$$

9. Perhitungan las sudut pada shear connector (stud)



Gambar 5.5. Rencana sambungan las pada shear connector

$$\frac{3}{16}'' = 4.763 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} D &= d_{\text{stud}} + (2 \cdot 4.763) \\ &= 15.94 + (2 \times 4.763) \\ &= 25.46 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang keliling las} = \pi \cdot D = \pi \times 25.46 = 79.95 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas las} = F_{\text{las}} &= 79.95 \times 4.763 \\ &= 380.77 \text{ mm}^2 = 3.81 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Kekuatan geser las } f = \frac{Qn}{F_{\text{las}}} = \frac{8873.0}{3.81} = 2330.27 \text{ kg/cm}^2$$

Kekuatan geser nominal las (f_w)

$$f_w = 0.75 (0.6 \cdot F_{\text{Exx}})$$

Digunakan elektoda 80 ksi dengan tebal las 10 mm = 1 cm

$$F_{\text{Exx}} = 80 \times 6.895 = 551.6 \text{ Mpa} = 5516 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} F_w &= 0.75 \times 1 (0.6 \times 5516) \\ &= 2482.2 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Control : } f \leq f_w$$

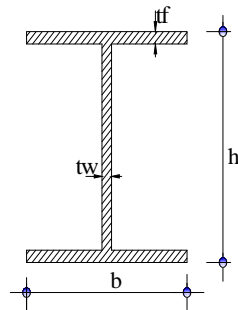
$$2330.26697 \text{ kg/cm}^2 \leq 2482.2 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{Aman}$$

5.6 Perencanaan Kolom F3

Tinggi kolom = 3.5 m

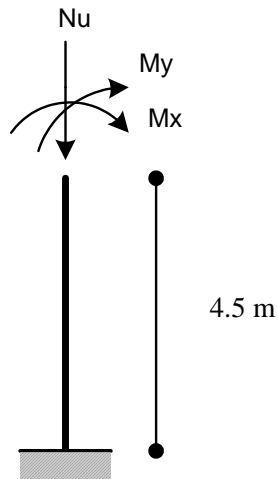
BJ 37, $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$

Dipakai profil 400 x 200 x 8 x 13



Data profil

$G = 66.0 \text{ kg/m}$	$Z_x = 1190 \text{ cm}^3$	$i_x = 16.8 \text{ cm}$
$A_g = 84.1 \text{ cm}^2$	$Z_y = 174 \text{ cm}^3$	$i_y = 4.54 \text{ cm}$
$I_x = 23700 \text{ cm}^4$	$b = 200 \text{ mm}$	$r = 1.6 \text{ cm}$
$I_y = 1740 \text{ cm}^4$	$h = 400 \text{ mm}$	
$f_y = 240 \text{ Mpa}$	$t_w = 8 \text{ mm}$	
$f_u = 370 \text{ Mpa}$	$t_f = 13 \text{ mm}$	
$M_{ux} = 151.69 \text{ kNm}$	$= 1516900 \text{ kgcm}$	
$M_{uy} = 22.85 \text{ kNm}$	$= 228500 \text{ kgcm}$	
$N_u = 59300 \text{ kg}$		



a. Kontrol Terhadap Kompak

$$\lambda \leq \lambda_p$$

** untuk Sayap

$$\frac{b}{2tf} \leq \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{200}{2 \times 13} \leq \frac{170}{\sqrt{240}}$$

$$7.692 \leq 10.97$$

Ok

** untuk Badan

$$\frac{h}{t} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

$$\frac{400}{8} \leq \frac{1680}{\sqrt{240}}$$

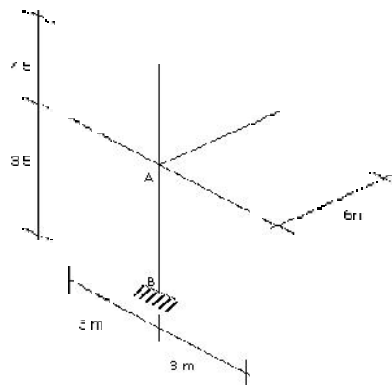
$$50 \leq 108.44$$

Ok

b. Panjang Tekuk Batang

Parameter kelangsingan

$$G = \frac{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_{\text{kolom}}}{\sum \left(\frac{I}{L} \right)_{\text{balok}}}$$



$$G_A = \frac{\frac{23700}{350} + \frac{23700}{4500}}{\frac{6320}{90} + \frac{23700}{600}}$$

$$= 0.67$$

$$G_B = 1 \text{ (untuk tumpuan jepit -jepit)}$$

Dari nomogram portal bergoyang, didapat nilai :

$$K_{cx} = 1.25 \text{ menentukan}$$

1) Menentukan Rasio Kelangsingan

$$\text{Panjang tekuk} = Lk = Kc \times L$$

$$= 1.25 \times 350 = 437.50 \text{ cm}$$

$$\frac{Lk}{ix} = \frac{437.50}{16.8} = 26.042$$

$$\frac{Lk}{iy} = \frac{437.50}{4.54} = 96.366$$

Dari rasio kelangsingan didapat tekuk terjadi pada arah sumbu y (= sumbu

$$\text{lemah) karena } \frac{Lk}{iy} > \frac{Lk}{ix}$$

2) Menentukan }c

$$\}c = \frac{1}{f} \cdot \frac{Lk}{iy} \cdot \sqrt{\frac{Fy}{E}}$$

$$= \frac{1}{\pi} \times 96.37 \times \sqrt{\frac{2400}{2 \times 10^6}} = 1.0631$$

3. Menentukan daya dukung nominal tahanan

Cek perbandingan lebar terhadap tebal penampang lebih (kelangsingan pelat)
kecil dari λ_r

$$\lambda_f = \frac{b}{t} = \frac{200}{2 \times 8} = 12.500$$

$$\lambda_r = \frac{250}{\sqrt{F_y}} = \frac{250}{\sqrt{240}} = 16.137$$

$$\lambda_r < \lambda_f \quad \dots\dots\dots \text{Ok}$$

Jadi tidak terjadi tekuk lokal, rumus $N_n = A_g \cdot F_{cr} = A_g \cdot F_{cr} = A_g \cdot \frac{F_y}{S}$ dapat
digunakan $0,25 < \lambda_c < 1.2$

$$S = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_c}$$

Daya dukung nominal :

$$N_n = A_g \cdot \frac{F_y}{S}$$

$$S = \frac{1.43}{1.6 - 0.67 \times 1.06} = 1.61$$

$$N_n = 84.1 \times \frac{2400}{1.61} = 125297.2 \text{ kg}$$

$$N_u \leq \phi N_n$$

$$N_u < 0.85 \times 125297.21$$

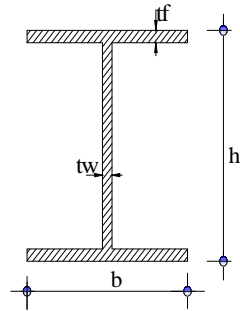
$$59300 \text{ kg} < 106502.629 \text{ kg} \quad \dots\dots\dots \text{Ok}$$

Jadi profil WF 400 x 200 x 8 x 13 memenuhi persyaratan dan dapat menahan
gaya tekan.

5.7 Perhitungan Sambungan

5.7.1 Sambungan Balok – Kolom (Joint 2441 beam 10977)

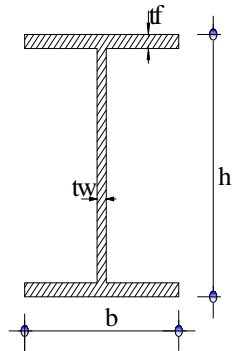
A. Balok WF 400x200x8x13 (Balok 10977)



Data profil

$G = 66.0$ kg/m	$Z_x = 1190$ cm ³	$i_x = 16.8$ cm
$A = 84.1$ cm ²	$Z_y = 174$ cm ³	$i_y = 4.54$ cm
$I_x = 23700$ cm ⁴	$b = 200$ mm	$r = 1.6$ cm
$I_y = 1740$ cm ⁴	$h = 400$ mm	
$f_y = 240$ Mpa	$t_w = 8$ mm	
$f_u = 370$ Mpa	$t_f = 13$ mm	

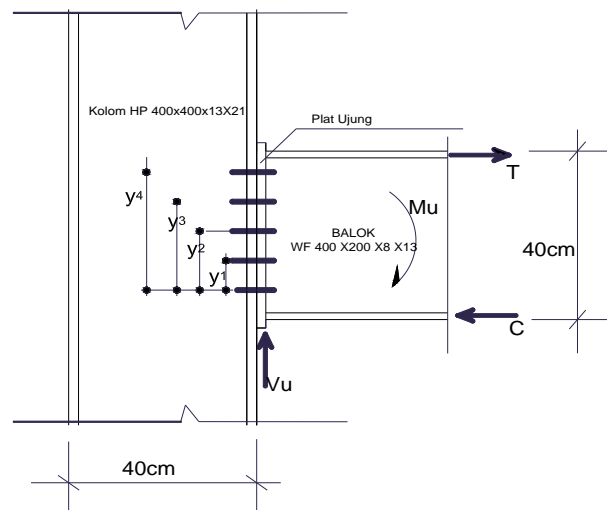
B. WP Kolom 400x 400x13x21 (Kolom 10966) 3E



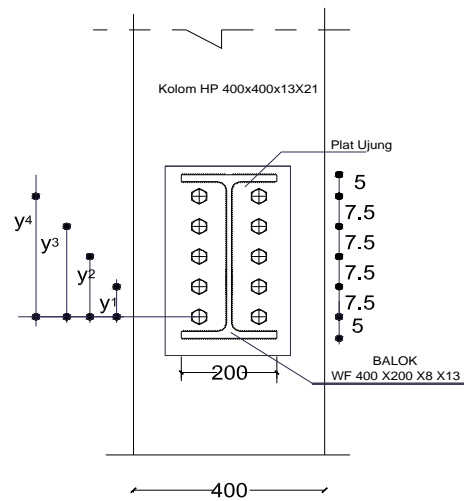
Data profil

$G = 172.0$ kg/m	$Z_x = 3330$ cm ³	$i_x = 17.5$ cm
$A = 218.7$ cm ²	$Z_y = 1120$ cm ³	$i_y = 10.1$ cm

$$\begin{aligned}
 I_x &= 66600 \text{ cm}^4 & b &= 400 \text{ mm} & r &= 2.2 \text{ cm} \\
 I_y &= 22400 \text{ cm}^4 & h &= 400 \text{ mm} \\
 f_y &= 240 \text{ Mpa} & t_w &= 8 \text{ mm} \\
 f_u &= 370 \text{ Mpa} & t_f &= 13 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



GAMBAR. 5.6 SAMBUNGAN KOLOM-BALOK MEMANJANG TAMPAK DEPANG



GAMBAR. 5.7 SAMBUNGAN KOLOM-BALOK MEMANJANG TAMPAK SAMPING

** Jarak tepi baut

$$\begin{aligned}
 &= 1.5d - 3d = 1.50 \times 19.1 - 3 \times 19.1 \\
 &= 28.65 - 57.3 \text{ mm} \quad \text{diambil } L = 5 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

**** Jarak antar baut**

$$= 3d - 7d = 3.00 \times 19.1 - 7 \times 19.1$$

$$= 57.3 - 133.7 \text{ mm} \quad \text{diambil } L = 7.5 \text{ cm}$$

$$M_u = 177.032 \text{ kNm} = 1770320 \text{ Kgcm}$$

$$V_u = 12100 \text{ kg} \quad \text{gaya geser pada kombinasi (1.2DL + 1 LL + 1EQ)}$$

$$R_u = 12100 \text{ kg}$$

1. Perhitungan Kekuatan Baut

$$\sum y^2 = 2(y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + y_4^2)$$

$$= 2 \times (7.5^2 + 15^2 + 22.5^2 + 30^2) = 3375.0 \text{ cm}$$

Kekuatan max pada satu baut

$$T_u = \frac{M_u \cdot y_4}{\sum y^2}$$

$$= \frac{1770320 \times 30}{3375.0} = 15736.18$$

$$\text{Dipakai baut A325 } \frac{3}{4}'' = 1.91 \text{ cm} \quad \text{dengan } F_{T\text{baut}} = 120 \text{ ksi}$$

$$= 8250 \text{ kg/cm}^2$$

Kekuatan tarik pada satu baut :

$$F_t = \frac{T}{A_{\text{baut}}} = \frac{T}{1/4 \cdot f \cdot d^2} = \frac{15736.1778}{1/4 \times \pi \cdot d^2} = 5494.94 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 5494.94 \text{ kg/cm}^2 < F_{T\text{baut}} = 120 \text{ ksi} = 8250 \text{ kg/cm}^2 \dots \dots \text{Ok}$$

Gaya geser yang dipikul 1 baut:

$$F_v = \frac{V}{A \cdot n} = \frac{V}{1/4 \cdot f \cdot d^2 \cdot n}$$

$$= \frac{12100}{1/4 \times \pi d^2} = 4225.217 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 4225.22 \text{ kg/cm}^2 < F_{Tbaut} = 120 \text{ ksi} = 8250 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

Kekuatan Tumpu

$$\begin{aligned} R_{nt} &= 0,75 \times f_u^b \times A_b \\ &= 0.75 \times 8250 \times 2.8638 \\ &= 17719.51 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{nv} &= m \times 0,5 \times f_u^b \times A_b \\ &= 10 \times 0.5 \times 8250 \times 2.864 \\ &= 118130.04 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\left[\frac{R_{ut}}{\phi_t \times R_{nt}} \right]^2 + \left[\frac{R_{ut}}{\phi_t \times R_{nv}} \right]^2 \leq 1$$

$$\left[\frac{12100}{0.75 \times 17719.51} \right]^2 + \left[\frac{12100}{0.75 \times 118130.04} \right]^2 \leq 1$$

$$0.85 \leq 1 \quad \text{Ok}$$

Kekautan ideal yang dipikul oleh baut adalah :

$$\begin{aligned} F_R &= \sqrt{F_T^2 + F_V^2} \\ &= \sqrt{5494.94^2 + 4225.217^2} \end{aligned}$$

$$= 6932 \text{ kg/cm}^2 < F_{Tbaut} = 120 \text{ ksi} = 8250 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

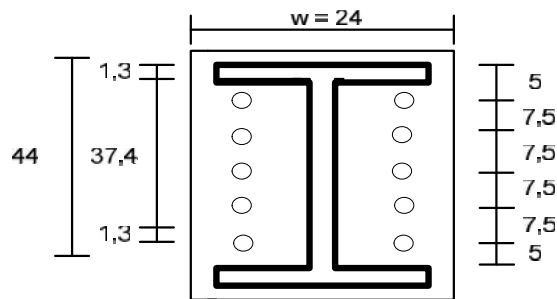
2. Perencanaan Pelat Ujung

a. Perhitungan tebal pelat ujung

Gaya tarik las sepanjang satu flens:

$$T_{maks} = W \times F_y \times t_f \times \left(\frac{b}{3} \right)$$

$$= 0.9 \times 2400 \times 1.3 \times (20 / 3) = 18720.00 \text{ kg}$$



Jarak bebas pemasangan (*assembling – clearence*) minimum untuk

baut diameter 1" diberikan oleh LRFD sebesar 1 5/8 inch = 4.128 cm

$$\text{Jarak } s = 4.128 + 1.3$$

$$= 5.428 \text{ cm}$$

Dicoba pelat dengan (w) = 24 cm dan panjang 44 cm.

Tebal pelat yang diperlukan dengan prying action Q ditetapkan sama dengan nol.

Jarak b' akan menjadi

$$b' = s - \frac{1}{2} \cdot d_b$$

$$= 5.4275 + 0.5 \times 1.91 = 6.3825$$

$$t_p = \sqrt{\frac{4.44 \cdot T \cdot b'}{w \cdot F_y \cdot (1 + r_u)}}$$

$$= \sqrt{\frac{4.44 \times 18720.0 \times 6.383}{24 \times 2400 \times (1 + 0)}}$$

$$= 3.035 \approx 3.500 \text{ cm}$$

Jadi tebal pelat ujung = 3.50 cm

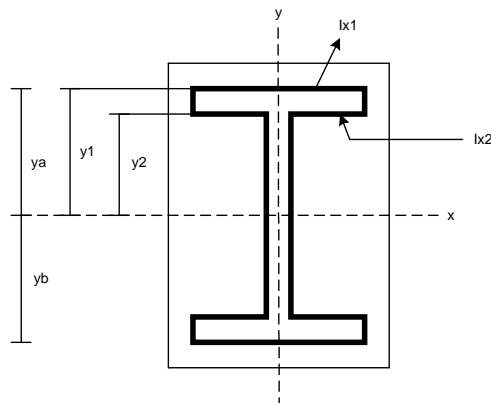
b. Perencanaan las pada sambungan pelat ujung

Tebal las (a) = $\frac{1}{2} \cdot t_p \cdot \sqrt{2}$

$$= 0.5 \times 3.5 \times \sqrt{2} = 2.4749$$

Direncanakan ukuran nominal las = 2 cm

Las plat ujung dan balok dipakai las E70 (Elektroda 70)



$$y_1 = \frac{d}{2} + \frac{1}{3} \cdot a$$

$$= \frac{400}{2} + \frac{1}{3} \times 20 = 206.67 \text{ mm} = 20.667 \text{ cm}$$

$$y_2 = \frac{d - 2t_f}{2} - \frac{1}{3} \cdot a$$

$$= \frac{400 - 2 \times 13}{2} - \frac{1}{3} \times 20 = 180.33 \text{ mm} = 18.03 \text{ cm}$$

$y_3 = 0$ (titik berat las bagian 3 tepat pada sumbu x)

$$y_4 = d - (1/2 \cdot t_f)$$

$$= 40 - (0.5 \times 1.3) = 39.35 \text{ cm}$$

1) Momen Inersia Las:

$$I_{x_1} = 2[(1/12 \cdot b \cdot a^3) + (b \cdot a \cdot y_1^2)]$$

$$= 2 \times [(1/12 \times 20 \times 20^3) + (20 \times 2 \times 20.67^2)]$$

$$= 34195.56 \text{ cm}^4$$

$$I_{x_2} = 4 \left[\left(\frac{1}{12} \cdot \frac{b-tw}{2} \cdot a^3 \right) + \left(\frac{b-tw}{2} \cdot a \cdot y_2^2 \right) \right]$$

$$= 4 \left(\left(\frac{1}{12} \times \frac{20 - 0.8}{2} \times 20^3 \right) + \left(\frac{20 - 0.8}{2} \times 2 \times 18.0333^2 \right) \right)$$

$$= 25001.05 \text{ cm}^4$$

$$I_{x \text{ total}} = I_{x_1} + I_{x_2}$$

$$= 34195.56 + 25001.05$$

$$= 59196.60 \text{ cm}^4$$

2) Momen tahanan Las

Serat atas:

$$W_{x \text{ atas}} = \frac{I_x}{y_a} = \frac{59196.60}{20} = 2959.83 \text{ cm}^3$$

Serat bawah:

$$W_{x \text{ bawah}} = \frac{I_x}{y_b} = \frac{59196.60}{20} = 2959.83 \text{ cm}^3$$

1) Tegangan tarik yang terjadi pada las (ditahan las pada flens balok)

Serat atas:

$$F_t \text{ atas} = \frac{M_u}{W_{x \text{ atas}}}$$

$$= \frac{1770320.0}{2959.83004} = 598.1154 \text{ kg/cm}^2 < F_t \text{ las} = 1390 \text{ kg/cm}^2$$

Serat bawah:

$$F_t \text{ bawah} = \frac{Mu}{Wxbawah}$$

$$= \frac{1770320.0}{2959.83004} = 598.1154 \text{ kg/cm}^2 < F_t \text{ las} = 1390 \text{ kg/cm}^2$$

4) Tegangan geser yang terjadi pada las (ditahan las pada plat badan balok)

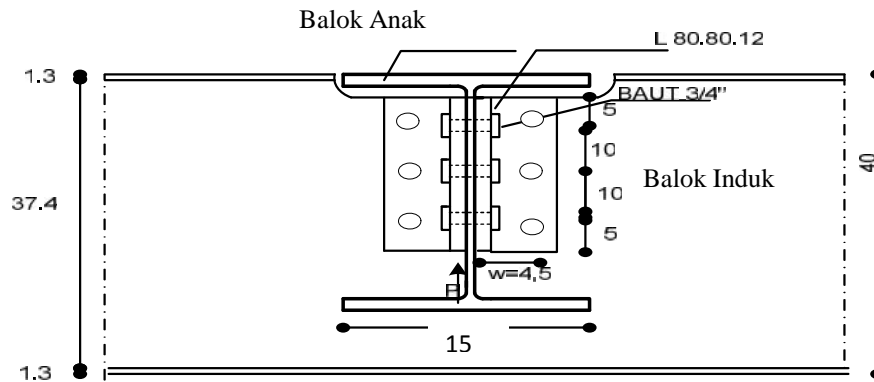
$$\text{Panjang las (L)} = 37.4 \times 2$$

$$= 74.8 \text{ cm}$$

$$\text{Luas (A)} = L \times a = 74.8 \times 2 = 149.6 \text{ cm}^2$$

$$F_v = \frac{V}{A} = \frac{12100.00}{149.6} = 80.88 \text{ kg/cm}^2 < F_t \text{ las} = 1390 \text{ kg/cm}^2$$

5.7.2 Sambungan Balok Induk - Balok Anak



Gambar 5.8 Sambungan Balok Induk – Balok Anak

Data profil

A. Balok WF 400x200x8x13

G = 66.0	kg/m	Zx	= 1190	cm ³	i _x =	16.8	cm
A = 84.1	cm ²	Zy	= 174	cm ³	i _y =	4.54	cm
I _x = 23700	cm ⁴	b	= 200	mm	r =	1.6	cm
I _y = 1740	cm ⁴	tf	= 8	mm			
f _u = 370	Mpa	h	= 400	mm			
f _y = 240	Mpa	tw	= 13	mm			

B. Profil WF Balok Anak 300x150x5.5x8

G = 32	kg/m	Zx = 424	cm ³	i _x = 12.4	cm
A = 40.8	cm ²	Zy = 59.3	cm ³	i _y = 3.29	cm
I _x = 6320	cm ⁴	b = 150	mm	r = 1.3	cm
I _y = 442	cm ⁴	tf = 8	mm		
f _y = 240	Mpa	h = 300	mm		
f _u = 370	Mpa	tw = 5.5	mm		

1. Data Baut

Digunakan baut dengan tipe A325 ($3/4'' = 1.91 \text{ cm}$)

$$A_b = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 1/4 \times 3.14 \times 1.91^2 = 2.8638 \text{ cm}^2$$

2. Jarak Baut

****Jarak tepi baut**

$$\begin{aligned} &= 1.5d - 3d = 1.50 \times 19.1 - 3 \times 19.1 \\ &= 28.65 - 57.3 \text{ mm} \quad \text{diambil } L = 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

****Jarak antar baut**

$$\begin{aligned} &= 3d - 7d = 3.00 \times 19.1 - 7 \times 19.1 \\ &= 57.3 - 133.7 \text{ mm} \quad \text{diambil } L = 9 \text{ cm} \end{aligned}$$

3. Perencanaan Baut

a. Tahanan geser baut dengan dua bidang geser

$$V_d = f \cdot T_n = f_m \cdot r_l \cdot f_u^b \cdot A_b$$

$$\begin{aligned} V_d &= 0.75 \times 2 \times 0.5 \times 8250 \times 2.8638 \\ &= 17719.5 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

b. Tahanan geser baut dengan satu bidang geser

$$V_d = f \cdot T_n = f_m \cdot r_l \cdot f_u^b \cdot A_b$$

$$\begin{aligned} V_d &= 0.75 \times 1 \times 0.5 \times 8250 \times 2.8638 \\ &= 8859.75 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

c. Tahanan tumpu baut pada bagian dari web

$$R_n = 2.4 \cdot f \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u$$

$$\begin{aligned} R_n &= 2.4 \times 0.75 \times 1.91 \times 3.5 \times 370 \\ &= 4452.21 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

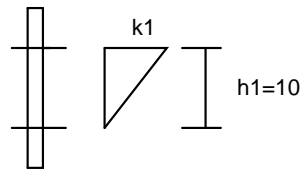
d. Menentukan jumlah baut (n)

$$n = \frac{P}{R_n} = \frac{1960.00}{4452.21} = 0.44 = 2.0 \text{ baut}$$

e. Momen yang terjadi:

$$M = P \cdot w$$

$$= 1960.00 \times 4.5 = 8820.00 \text{ kgcm}$$



$$\sum h^2 = h1^2 = 10^2 = 100 \text{ cm}^2$$

f. Gaya tarik pada baut:

$$T = \frac{M \cdot h1}{\sum h^2} = \frac{8820 \times 10}{100} = 882.00 \text{ kg}$$

g. Gaya geser 1 baut:

$$V = \frac{P}{n} = \frac{1960.00}{4.00} = 490.00 \text{ kg}$$

h. Tegangan tarik maksimum pada baut teratas:

$$F_t = \frac{T}{A_{baut}} = \frac{T}{1/4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

$$= \frac{882.00}{1/4 \times \pi \cdot d^2} = 307.9869 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 307.987 \text{ kg/cm}^2 < F_{Tbaut} = 120 \text{ ksi} = 8250 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

i. Tegangan geser arah flens (Vy):

$$F_v = \frac{V}{A.n} = \frac{V}{1/4.f.d^2.n}$$

$$= \frac{490.00}{1/4 \times \pi d^2} = 171.1038 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 171.104 \text{ kg/cm}^2 < F_{Tbaut} = 120 \text{ ksi} = 8250 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

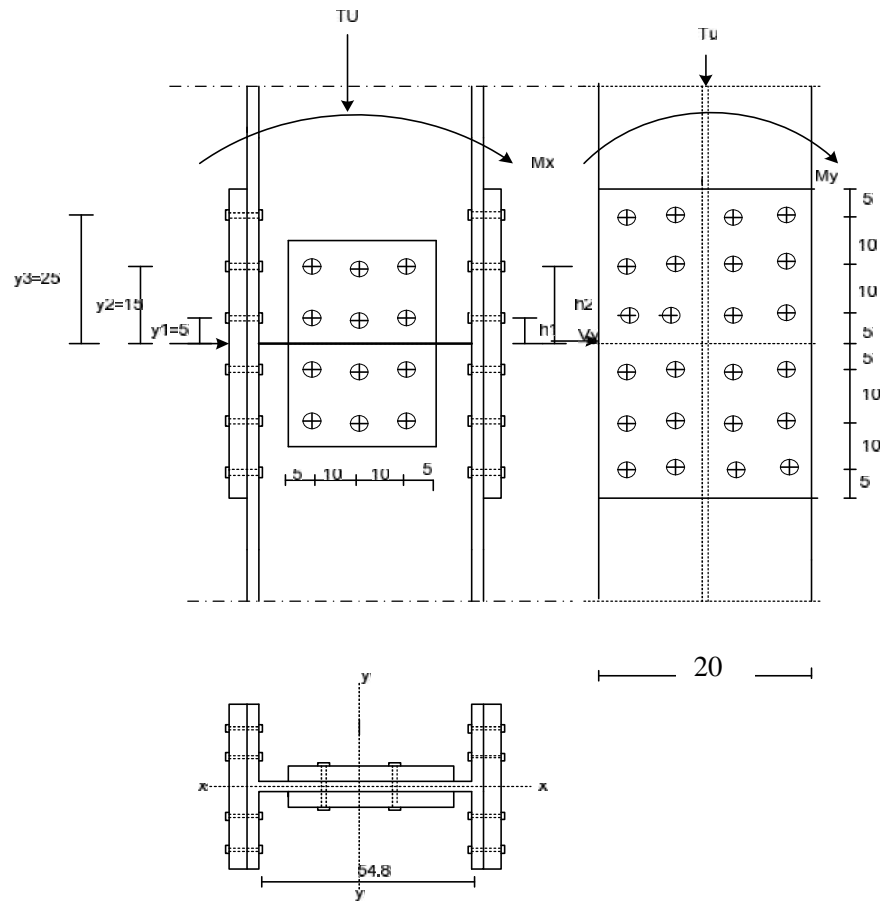
j. Tegangan ideal yang dipikul oleh satu baut adalah:

$$F_R = \sqrt{F_T^2 + F_V^2}$$

$$= \sqrt{307.987^2 + 171.1038^2}$$

$$= 352.32 \text{ kg/cm}^2 < F_{Tbaut} = 120 \text{ ksi} = 8250 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{Ok}$$

5.7.3 Sambungan Kolom – Kolom (10998)



Gambar 5.9 Sambungan Kolom-Kolom

Data profil

A. Balok WF 400x200x8x13

$G = 66.0$	kg/m	$Z_x = 1190$	cm ³	$i_x = 16.8$	cm
$A = 84.1$	cm ²	$Z_y = 174$	cm ³	$i_y = 4.54$	cm
$I_x = 23700$	cm ⁴	$b = 200$	mm	$r = 1.6$	cm
$I_y = 1740$	cm ⁴	$t_f = 8$	mm		
$f_y = 240$	Mpa	$h = 400$	mm		
$f_u = 370$	Mpa	$t_w = 13$	mm		
Baut = A325 $\varnothing = \frac{3}{4}$ "					

2. Data statika dari Staad Pro :

$$M_{uA} = 118.53 \text{ kNm}$$

$$M_{uB} = 19.048 \text{ kNm}$$

$$N_u = 51100 \text{ kg}$$

$$V_u = 850.068 \text{ kg}$$

3. Data baut

Digunakan baut dengan tipe A325 (3/4" = 1.91 cm)

$$A_b = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 1/4 \times 3.14 \times 1.91^2 = 2.8638 \text{ cm}^2$$

$$f_u^b = 120 \text{ ksi} = 8250 \text{ kg/cm}^2$$

4. Kekuatan tekan maksimum (Tu)

a. Beban tekan aksial akibat gaya aksial (Nu)

$$\begin{aligned} T_u &= \frac{N_u}{2} \\ &= \frac{51100.00}{2} = 25550 \text{ kg} \end{aligned}$$

b. Beban tekan akibat momen (Mu)

$$T_u = \frac{Mu}{d - 2t_f} = \frac{118530.00}{20 - 2 \times 0.8} = 6441.85 \text{ kg}$$

Beban tekan maksimum total yang diterima oleh satu plat penyambung (Tu maks)

$$= 25550 + 6441.8$$

$$= 31991.85 \text{ kg}$$

5. Perencanaan baut *flens*

Digunakan plat penyambung dengan $f_y = 4100 \text{ kg/cm}^2$ $f_u = 5500 \text{ kg/cm}^2$

$$A_{ns} = \frac{T_u}{w \cdot f_y} = \frac{31991.85}{0.75 \times 4100} = 10.40 \text{ cm}^2$$

a. Menentukan luas pelat

$$A_n = \frac{T_u}{w \cdot f_u} = \frac{31991.85}{0.75 \times 5500} = 7.76 \text{ cm}^2$$

b. Menentukan tebal pelat

Lebar plat (b) = 20 cm

$$t = \frac{A_{ns}}{b} = \frac{10.40}{20} = 0.520 \text{ cm} = 1.5 \text{ cm}$$

c. Kekuatan nominal baut dalam geser tunggal

$$V_d = f \cdot T_n = f \cdot m \cdot r_l \cdot f_u^b \cdot A_b$$

$$\begin{aligned} V_d &= 0.75 \times 1 \times 0.5 \times 8250 \times 2.8638 \\ &= 8859.75 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

d. Kekuatan nominal baut dalam tumpu

$$R_n = 2.4 \cdot f \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u$$

$$\begin{aligned} R_n &= 2.4 \times 0.75 \times 1.91 \times 1.5 \times 5500 \\ &= 28363.50 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

e. Kekuatan nominal baut dalam tarik

$$T_d = f \cdot T_n = f \cdot 0.75 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

$$\begin{aligned} T_d &= 0.75 \times 0.75 \times 8250 \times 2.864 \\ &= 13289.63 \text{ kg} \end{aligned}$$

f. Menentukan jumlah baut yang digunakan (n) akibat V_u

$$n = \frac{Vu}{V_d} = \frac{850.07}{8859.75286} = 0.096 \text{ buah} = 4 \text{ buah (2 baris)}$$

g. Menentukan jumlah baut yang digunakan (n) akibat Tu

$$n = \frac{Tu}{V_d} = \frac{31991.85}{8859.75286} = 3.611 \text{ buah} = 8 \text{ buah}$$

h. Jarak baut vertikal

****Jarak tepi baut**

$$\begin{aligned} &= 1.5d - 3d = 1.50 \times 19.1 - 3 \times 19.1 \\ &= 28.65 - 57.3 \text{ mm diambil } L = 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

****Jarak antar baut**

$$\begin{aligned} &= 3d - 7d = 3.00 \times 19.1 - 7 \times 19.1 \\ &= 57.3 - 133.7 \text{ mm diambil } L = 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

i. Jarak baut horizotal

****Jarak tepi baut**

$$\begin{aligned} &= 1.5d - 3d = 1.50 \times 19.1 - 3 \times 19.1 \\ &= 28.65 - 57.3 \text{ mm diambil } L = 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

****Jarak antar baut**

$$\begin{aligned} &= 3d - 7d = 3.00 \times 19.1 - 7 \times 19.1 \\ &= 57.3 - 133.7 \text{ mm diambil } L = 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

j Perhitungan panjang plat penyambung

$$P = (2.S) + (5.S1)$$

$$= 2 \times 5 + 5 \times 10 = 60$$

Jadi ukuran plat 60. 20 . 2.3

6. Perencanaan baut – baut badan

$$V_u = 850.07 \text{ kg}$$

a. Menentukan luas pelat leleh

$$A_n = \frac{V_u}{w \cdot f_y} = \frac{850.07}{0.75 \times 4100} = 0.28 \text{ cm}^2$$

b. Menentukan luas pelat patah

$$A_{ns} = \frac{V_u}{w \cdot f_u} = \frac{850.07}{0.9 \times 5500} = 0.17 \text{ cm}^2$$

c. Menentukan tebal pelat

$$\text{Lebar plat (b)} = 20 \text{ cm}$$

$$t = \frac{A_{ns}}{b} = \frac{0.17}{20} = 0.009 \text{ cm} = 1.5 \text{ cm}$$

d. Kekuatan nominal baut dalam geser ganda

$$V_d = f \cdot T_n = f \cdot m \cdot r_l \cdot f_u^b \cdot A_b$$

$$\begin{aligned} V_d &= 0.75 \times 2 \times 0.5 \times 8250 \times 2.8638 \\ &= 17719.5 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

e. Kekuatan nominal baut dalam tumpu

$$R_n = 2.4 \cdot f \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u$$

$$\begin{aligned} R_n &= 2.4 \times 0.75 \times 1.91 \times 1.5 \times 5500 \\ &= 28363.50 \text{ kg/baut} \end{aligned}$$

f. Kekuatan nominal baut dalam tarik

$$T_d = f \cdot T_n = f \cdot 0.75 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

$$\begin{aligned} T_d &= 0.75 \times 0.75 \times 8250 \times 2.864 \\ &= 13289.63 \text{ kg} \end{aligned}$$

g. Menentukan jumlah baut (n)

$$n = \frac{Vu}{V_d} = \frac{850.07}{17719.5057} = 0.048 \text{ buah} = 4 \text{ buah (2 baris)}$$

h. Jarak baut vertikal

****Jarak tepi baut**

$$\begin{aligned} &= 1.5d - 3d = 1.50 \times 19.1 - 3 \times 19.1 \\ &= 28.65 - 57.3 \text{ mm diambil } L = 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

****Jarak antar baut**

$$\begin{aligned} &= 3d - 7d = 3.00 \times 19.1 - 7 \times 19.1 \\ &= 57.3 - 133.7 \text{ mm diambil } L = 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

i. Jarak baut horizotal

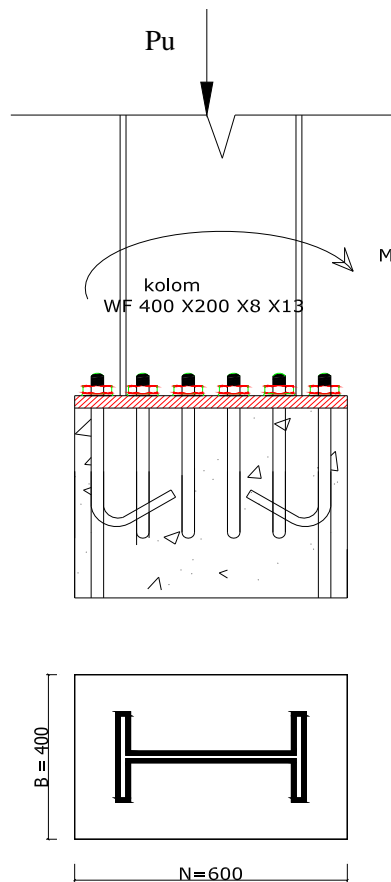
****Jarak tepi baut**

$$\begin{aligned} &= 1.5d - 3d = 1.50 \times 19.1 - 3 \times 19.1 \\ &= 28.65 - 57.3 \text{ mm diambil } L = 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

****Jarak antar baut**

$$\begin{aligned} &= 3d - 7d = 3.00 \times 19.1 - 7 \times 19.1 \\ &= 57.3 - 133.7 \text{ mm diambil } L = 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

5.7.4 Sambungan Kolom – Plat Dasar beam 10965 join 11918



Gambar 5.10 Sambungan Kolom- Plat dasar

1. Data profil

A. Balok WF 400x200x8x13

$G = 66.0$	kg/m	$Z_x = 1190$	cm ³
$A = 84.1$	cm ²	$Z_y = 174$	cm ³
$I_x = 23700$	cm ⁴	$b = 200$	mm
$I_y = 1740$	cm ⁴	$t_f = 8$	mm
$f_y = 240$	Mpa	$h = 400$	mm
$f_u = 370$	Mpa	$t_w = 13$	mm

Baut = A325 $\varnothing = \frac{3}{4}"$

Data perencanaan

$$P_u = 63500 \text{ kg} \quad M_u = 150.17 \text{ kN m} = 1501700 \text{ kgcm}$$

2. Luas bidang pelat dasar

Luas bidang pelat dasar perlu:

$$P_u \leq \phi P_p$$

$$P_u \leq \phi \cdot (0.85 \cdot f'_c \cdot A_1)$$

$$63500 \leq 0.6 \times (0.85 \times 350 \times A_1)$$

$$63500 \leq 178.50 A_1$$

$$A_1 = 355.74 \text{ cm}^2$$

Luas pelat dasar harus lebih besar dari luas profil yang dipakai :

$$A_1 = d \cdot b_f$$

$$A_1 = 40 \times 20$$

$$= 800 \text{ cm}^2$$

Dari kedua luasan pelat dasar diatas dipakai yang terbesar, yaitu = 800 cm²

3. Penentuan dimensi pelat dasar

$$\Delta = \frac{0.95 \cdot d - 0.80 \cdot b}{2} = \frac{0.95 \times 40 - 0.8 \times 20}{2} = 11 \text{ cm}$$

$$N = \sqrt{A_1} + \Delta$$

$$= \sqrt{800} + 11 = 39.28 \text{ cm} = 60 \text{ cm}$$

$$B = \frac{A_1}{N} = \frac{800.00}{60} = 13 \text{ cm}$$

Maka ukuran dimensi pelat dasar yang dipakai dicoba 40 x 60 cm

4. Tebal pelat dasar

$$m = \frac{N - 0,95.d}{2} = \frac{60 - 0,95 \times 40}{2} = 11,00 \text{ cm}$$

$$n = \frac{B - 0,80.b}{2} = \frac{40 - 0,95 \times 20}{2} = 10,50 \text{ cm}$$

$$W_c . P_p = W_c . (0,85 . f'c . A_1)$$

$$= 0,6 \times (0,85 \times 300 \times 40 \times 60)$$

$$= 367200,0 \text{ kg}$$

$$x = \frac{4.db}{(d+b)^2} \cdot \frac{P_u}{W_c . P_p}$$

$$= \frac{4 \times 40 \times 20}{(40 + 20)^2} \times \frac{63500}{367200,0} = 0,1537$$

$$\beta = \frac{2\sqrt{x}}{1 + \sqrt{1-x}} = \frac{2 \times \sqrt{0,15}}{1 + \sqrt{1-0,164}} = 0,4084$$

$$\beta n' = \frac{\beta \cdot \sqrt{db}}{4}$$

$$= \frac{0,408 \times \sqrt{40 \cdot 20}}{4} = 2,888$$

ℓ adalah nilai tertinggi dari $m, \beta n'$ yaitu 2,8879

$$t = \ell \cdot \sqrt{\frac{2.P_u}{0,9.F_y.B.N}} = 2,888 \times \sqrt{\frac{2.676000}{0,9.2400.40.60}}$$

$$= 0,452 \approx 3 \text{ cm}$$

5. Perhitungan jangkar

$$f = \frac{Pu}{A} \pm \frac{Mu}{W} = \frac{63500}{40 \times 60} \pm \frac{15017000}{1/6 \times 40 \times 60^2}$$

$$f_{\text{maks}} = 89.029 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{\text{min}} = -36.113 \text{ kg/cm}^2$$

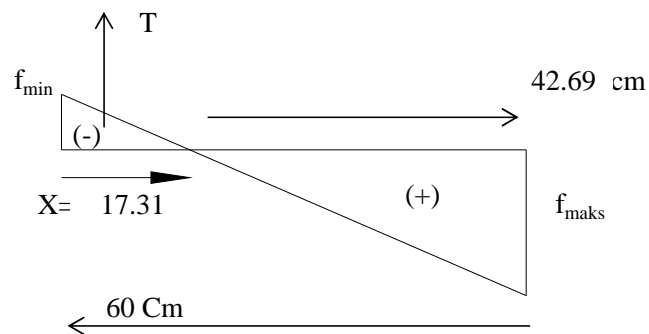
$$\frac{x}{y} = \frac{36.1125}{89.029} = \frac{1}{2.4653}$$

$$y = 2.4653 x$$

$$x + y = x + 2.4653 x$$

$$3.4653 x = 60 \text{ cm}$$

$$x = 17.31 \text{ cm}$$



- Gaya jangkar

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2} \cdot (x \cdot f \cdot B) = 0.5 \times 17.31 \times 36.113 \times 40 \\ &= 12505.31 \text{ kg} \end{aligned}$$

6 Luas penampang baut jangkar

$$A = \frac{T}{w \cdot 0,75 \cdot F_y} = \frac{63500}{0,75 \times 0,75 \times 2400} = 47.04 \text{ cm}^2$$

Dipakai jangkar $\varnothing 1 \frac{1}{4}$ " = 3.18 cm

$$\text{Jumlah jangkar } n = \frac{47.04}{\frac{1}{4} \times \pi d^2} = 5.944055 \approx 6 \text{ buah}$$

maka dipasang pada sisi kiri dan sisi kanan = 12 buah

7 Panjang angker

$$l = \frac{T}{Teg. geser \times 2 \pi D}$$

$$\text{Tegangan geser} = T/A = 26.46 \text{ kg/cm}^2$$

$$= \frac{12505.31}{26.46 \times 2 \times \pi \times D} = 23.692 \text{ cm}$$

Maka dipake Panjang angkur 40 cm

8. Kontrol pemasangan baut

**Jarak tepi baut

$$\begin{aligned} &= 1.5d - 3d = 1.50 \times 19.1 - 3 \times 19.1 \\ &= 28.65 - 57.3 \text{ mm diambil } L = 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

**Jarak antar baut

$$\begin{aligned} &= 3d - 7d = 3.00 \times 19.1 - 7 \times 19.1 \\ &= 57.3 - 133.7 \text{ mm diambil } L = 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

9. Perencanaan las pelat dasar kolom

a. Gaya tarik maksimum

$$T_{\text{maks}} = W \times F_y \times t_f \times \left(\frac{b}{s} \right)$$

$$(3)$$

$$= 0.9 \times 2400 \times 1.3 \times (20 / 3) = 18720.00 \text{ kg}$$

b. Jarak bebas pemasangan (*assembling – clearence*) minimum untuk

baut diameter 1” diberikan oleh LRFD sebesar 1 1/4 inch = 3.175 cm

$$\text{Jarak } s = 3.175 + 1.3$$

$$= 4.475 \text{ cm}$$

Dicoba pelat dengan (w) = 40 cm dan panjang 60 cm.

Tebal pelat yang diperlukan dengan prying action Q ditetapkan sama dengan nol.

Jarak b' akan menjadi

$$b' = s - \frac{1}{2} \cdot db$$

$$= 4.475 + 0.5 \times 3.175 = 6.063 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} t_p &= \sqrt{\frac{4.44 \cdot T \cdot b'}{w \cdot F_y \cdot (1 + r_u)}} \\ &= \sqrt{\frac{4.44 \times 63500.0 \times 6.063}{40 \times 2400 \times (1 + 0)}} \\ &= 4.220 \approx 4.000 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Jadi tebal pelat ujung} = 4.00 \text{ cm}$$

10. Perencanaan las pada sambungan pelat dasar

$$\text{Tebal las} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \sqrt{2} = \frac{1}{2} \times 4 \times \sqrt{2} = 2.83$$

$$\text{Direncanakan ukuran nominal las} = 3 \text{ mm}$$

Tabel 5.5 Ukuran Minimum Las Sudut

Tebal bagian paling tebal t (mm)	Tebal minimum las sudut, tw (mm)
t ≤ 7	3
7 < t ≤ 10	4
10 < t ≤ 15	5
15 < t	6

SNI 03-1729-2002, Hal 184)

Digunakan Las E70 (kuat tarik $F_{exx} = 70 \text{ksi} = 4889,5$)

$$\begin{aligned}
 f R_{nw} &= 0,75 t t \quad (0,6 f_{uw}) \text{ (las)} \\
 &= 0,75 \times 0,6 (0,6 \times 4889,50) \\
 &= 1320,2 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

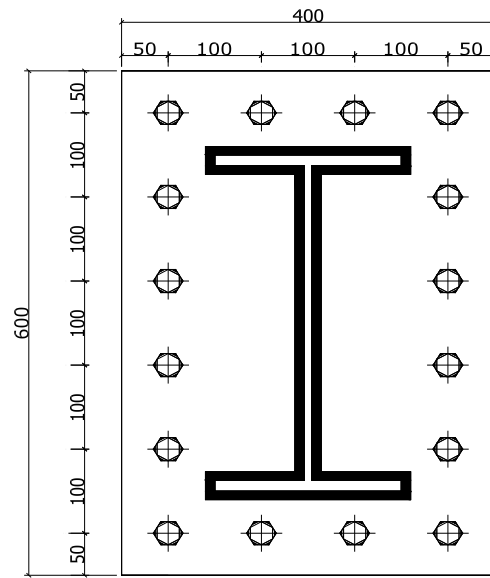
$$\begin{aligned}
 f R_{nw} &= 0,75 t t \quad (0,6 f_u) \text{ (bahan dasar)} \\
 &= 0,75 \times 0,6 (0,6 \times 3700,00) \\
 &= 999,0 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan las (R_{nw})

$$\frac{T_u}{L_w} \leq \phi R_{nw}$$

$$\begin{aligned}
 L_w &= 2.b + 4.t_f + 4.(b - t_w) = 2 \times 20 + 4 \times 0,8 + (20 - 1,3) \\
 &= 61,90 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{63500}{61,90} = 1026 \leq 1320,2 \text{ kg} \dots\dots\dots \text{Ok}$$



Gambar 5.11 plat dasar kolom tampak atas

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Merujuk dari analisa statika serta hasil perencanaan, jumlah tulanga pada beton dan dimensi profil baja yang digunakan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penyerapan beban gempa pada elemen struktur portal lantai 2 dan lantai 5 beam F3 – E3

Beban	kondisi	Lantai 2	Lantai 5
Gempa (E) Bidang Momen	Positif	115.914 kN m	80.221 kN m
	Negatif	93.345 kN m	35.169 kN m

2. kemampuan-layan pada elemen struktur.

- 2.1. simpangan antar tnhkat pengaru gempa rencana

Tabel 4.3 Analisa s akibat gempa

Tabel 4.3 Analisa s akibat gempa

Lantai Ke-i	hi (m)	s (mm)	drift s antar lantai (mm)	Syarat drift s (mm)	Keterangan
11	46.5	147.021	6.98	24.55	Ok
10	42	140.044	12.70	24.55	Ok
9	37.5	127.348	16.65	24.55	Ok
8	33	110.693	19.98	24.55	Ok
7	28.5	90.715	22.48	24.55	Ok
6	24	68.232	20.21	24.55	Ok
5	19.5	48.0257	9.54	24.55	Ok
4	15	38.4821	10.29	24.55	Ok

3	10.5	28.1884	11.15	24.55	Ok
2	6	17.0342	17.03	32.727	Ok

Menurut pasal 8.2.1, untuk memenuhi syarat kinerja batas layan, jika drift s antar tingkat tidak boleh lebih besar dari :

$$(\text{drift } s) = \frac{0,03}{R} \times h_i \quad \text{Tingkat 1, } h = 6000 \text{ mm}$$

$$(\text{drift } s) = \frac{0,03}{5,5} \times 6000 = 24.55 \text{ mm.}$$

s < dari syarat maka bangunan Aman

2.2. simpangan antar tingkat di ambang keruntuhan

Tabel. 4.4 simpangan antar tingkat di ambang keruntuhan

Lantai Ke-i	hi (m)	s (mm)	drift s antar lantai (mm)	drift m antar lantai (mm)	Syarat drift s (mm)	Keterangan
11	46.5	147.021	6.98	26.86	90.00	Ok
10	42	140.044	12.70	48.88	90.00	Ok
9	37.5	127.348	16.65	64.12	90.00	Ok
8	33	110.693	19.98	76.92	90.00	Ok
7	28.5	90.715	22.48	86.56	90.00	Ok
6	24	68.232	20.21	77.79	90.00	Ok
5	19.5	48.0257	9.54	36.74	90.00	Ok
4	15	38.4821	10.29	39.63	90.00	Ok
3	10.5	28.1884	11.15	42.94	90.00	Ok
2	6	17.0342	17.03	65.58	120.00	Ok

Selanjutnya pasal 8.8.2 membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur yang akan membawahkan korban jiwa dengan dengan membatasi nilai drift m antar tingkat tidak boleh melebihi:

$$\text{lantai 2, } h \text{ (drift m)} = 0,02 \times 6000 = 120 \text{ mm.}$$

drift m antar tingkat < dari syarat yang di tentukan maka Aman

3. Dimensi penampang baja dan Penulangan pada tumpuan dan variasi bentuk beam 3E- 3F

3.1. Dimensi balok digunakan WF 400 x 200 x 8 x 13

3.2. Dimensi balok anak digunakan WF 300 x 150 x 5.5 x 8

3.3. Dimensi kolom 3E digunakan HP 400 x 400 x 13 x 21

3.4. Dimensi kolom 3F digunakan WF 400 x 200 x 8 x 13

3.5. Dimensi kolom 3G digunakan WF 300 x 150 x 5.5 x 8

3.6. Perhitungan penulangan pada tumpuan join 3 beam 3E- 3F

$$M_u = 237.384 \text{ kNm}$$

Dengan Tulangan tarik = 8 D 22

Dengan Tulangan tekan = 5 D 22

3.7. Perhitungan penulangan Lapangan beam 3F- 3E

$$M_u = 120.406 \text{ kNm}$$

Dengan Tulangan tarik = 4 D 22

Dengan Tulangan tekan = 2 D 22

3.8. Dengan menggunakan variasi bentuk yang salah satunya berbentuk bujur sangkar 24 D25 kolom 3E untuk kondisi tekan menentukan

$$M_n = 6717.53 \text{ kNm}$$

$$P_n = 1089.93 \text{ kN}$$

6.2 Saran-saran

Berdasarkan hasil perhitungan perencanaan beton dan portal baja dengan metode LRFD dan SNI beton yang berlaku di Indonesia pada pembangunan Gedung Program Studi Teknik Industri Fakultas Hukum pascasarjana Universitas Brawijaya dengan mendesain ulang dengan metode LRFD pada full struktur baja yang lebih ekonomis, aman, dan nyaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim: 2002. SNI 03 - 2847 – 2002. *tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*.
- Anonim: 2002. SNI 03- 1726 – 2002 *tentang tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*.
- Anonim: 2002. SNI, 03 - 1729 – 2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*. Bandung.
- Anonim. 2010. Edisi Kelima. *Pedoman Penulisan Karya Ilmia*. Universitas Negeri Malang.Malang.
- Daniel L. Schodek. 1998. *Structures* cetakan ketiga. Penerbit PT Refika Aditama.
- Departemen Pekerjaan umum, 7 Oktober 1987. *Pedoman Perencanaan Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung*. Penerbit Yayasan.
- Dipohusodo Istimawan. 1996. *Struktur Beton Bertulang*. Penerbit PT Gramedia Pustaka utama, Jakarta
- Gunawan R (1988). *Tabel Profil Konstruksi Baja*. penerbit Kanisius
- Nawy G. Edward. 1990. *Beton Bertulang. Cetakan pertama*. Penerbit PT Eresco.
- Salmon C. G dan Johnson E. John (1991). *Struktur Baja Desain dan Perilaku jilid. 1-edisi kedua*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Setiawan Agus. November 2002. *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD (Sesuai SNI 03-1729-2002)*. Penerbit Erlangga